

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Matias Järvinen

JÄTEVEDENPUHDISTAMON SÄHKÖVERKON MALLINNUS
ECODIAL ADVANCED CALCULATION -MALLINNUSOHJELMALLA

Opinnäytetyö
Toukokuu 2015



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2015
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
(013) 260 6800

Tekijä

Matias Järvinen

Nimeke

Jätevedenpuhdistamon sähköverkon mallinnus Ecodial Advanced Calculation
-mallinnusohjelmalla

Toimeksiantaja Joensuun Vesi, Joensuun kaupungin liikelaitys

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin toimeksiantajan jätevedenpuhdistamon sähköverkon kuntoa. Kattavaa sähköverkon tarkastelua ei ole koskaan tehty. Tutkimisen apuna käytetään Schneider Electricin kehittämää mallinnusohjelmaa Ecodial Advanced Calculation. Työn tavoitteena oli arvioida, soveltuuko ohjelma toimeksiantajan käyttöön huoltotöiden apuna. Tavoitteena oli samalla itse perehtyä ohjelman käyttöön. Mallinnusohjelman laskentatuloksia tuli verrata käsin tehtyihin laskelmiin. Ohjelman laskenta tuloksien luotettavuuden arvioinnissa käytettiin apuna taulukkolaskentaohjelmaa.

Teoriaosuudessa käydään läpi asioita, jotka ovat tärkeitä ymmärtää ennen mallintamisen aloittamista. Mallinnus ja laskelmat -kohdassa käydään läpi, kuinka ohjelmaa käytetään mallinnuksessa. Tulokset -kohdassa esitellään ohjelmasta saadut tulokset ja vertaillaan niitä käsin laskettuihin arvoihin. Pohdinta osiossa käsitellään ohjelmiston sopivuutta teollisuusympäristön käyttöön. Osiossa käsitellään asioita, joihin pitää kiinnittää huomiota, jos sähköverkon mallia käytetään tulevaisuudessa.

Sähköverkon mallia voidaan tulevaisuudessa hyödyntää laajennusten yhteydessä tehtävissä sähköverkon kunnan tarkasteluissa. Mallia käytettäessä havaittiin, että ohjelmistolla ei pystytty mallintamaan jätevedenpuhdistamon sähköverkkoa täydellisesti. Tulokset kohdassa todetaan ohjelmiston olevan käyttökelpoinen Suomen kiinteistöjen sähköverkonmallinnuksessa. Laskentatulokset poikkeavat hieman toisistaan, mikä johtunee laskentaohjelman käyttämistä tarkemmista kaavoista ja lähtöarvoista.

Kieli

Suomi

Sivuja 33

Liitteet 7

Asiasanat

Ecodial Advanced Calculation, oikosulkuvirta, selektiivisyys, jännitteenalenema, sähköverkko



THESIS
May 2015
Degree Programme in Electrical Engineering

Karjalankatu 3
FIN 80200 JOENSUU
FINLAND
+358 (013) 2600 6800

Author (s)

Matias Järvinen

Title

Simulation of Electrical Network at Waste Water Treatment Plant with the Ecodial Advanced Calculation Simulation Program

Commissioned by Joensuu Water Public Works Department

Abstract

The purpose of this thesis was to inspect the condition of the electrical network at Joensuu water's waste water treatment plant. There has never been a comprehensive study of the electrical network in waste water treatment plant. The inspection was made by using Schneider Electric's Ecodial Advanced Calculation which is an electric network calculation software. The purpose of the thesis was also to assess the possibility to use the software in maintenance work. The software's calculation results were compared to manually made calculations to ensure the reliability of the program.

Theory part contains essential information about electrical network simulation. Making simulation with Ecodial Advanced Calculation software is in the section about models and calculation with the program. In the results part there are calculation comparison between the software's results and manually made calculations. The conclusion part contains thoughts about the future usage of the network model and what should be taken into consideration if the model is used.

In future it is possible to use electrical network model when planning expansions. Discretion is advised if the model is used since the model could not be made to match perfectly with the real electrical network. The results show that the software is usable when simulating electrical networks in Finland.

Language

Finnish

Pages 33

Appendices 7

Keywords

Ecodial Advanced Calculation, short-circuit current, selectivity, voltage drop, electrical network

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Joensuun Vesi	6
3	Sähköverkon mallinnuksen teoria	7
3.1	Jakelujärjestelmät	7
3.2	Ylikuormitussuojaus	12
3.3	Oikosulkuvirtasuojaus	14
3.4	Katkaisijat	15
3.5	Selektiivisyys	16
3.6	Lisäsuojaus	18
3.7	Johtimien mitoittaminen	19
3.8	Jännitteenalenema	20
4	Mallinnus ja laskelmat ohjelmalla	21
4.1	Projektin luominen	21
4.2	Projektin asetukset	23
4.3	Sähköverkon mallinnus ohjelmalla	23
4.4	Simulointi ohjelmalla	27
5	Tulokset	28
5.1	Oikosulkuvirtavertailu	28
5.2	Jännitteenaleneman vertailu	30
5.3	Selektiivisyyden tulokset	31
5.4	Mallintamisen tulokset	31
6	Pohdinta	32

Liitteet

Liite 1	Oikosulkuvirtalaskelma taulukkolaskentaohjelmalla
Liite 2	Teoreettinen sähköverkon malli
Liite 3	Oikosulkuvirtalaskelma taulukkolaskentaohjelmalla teoreettisessa mallissa
Liite 4	Jännitteenalenemalaskelma taulukkolaskentaohjelmalla
Liite 5	Lista ohjelmiston ilmoittamista epäselektiivisyyksistä
Liite 6	Lista ohjelmiston ilmoittamista muutoksista lähtöihin
Liite 7	Lista ohjelmiston ilmoittamista jännitteenalenemista

1 Johdanto

Sähköverkon suojauksen toimivuus on kriittinen osa sähköturvallisuutta. Suojauksen tarkoituksena on estää ihmisten ja eläinten joutuminen alttiiksi sähköiskuille [1]. Suojauksen toimivuutta sähköverkossa voidaan tarkastella käyttämällä sähköverkon suunnitellussa käytettäviä suunnitteluohjelmia. Opinnäytetyössä mallinnetaan laskentaohjelmalla Joensuun kaupungin liikelaitoksen Joensuun Veden Kuhasalossa sijaitsevan jätevedenpuhdistamon sähköverkko. Sähköverkkoa ei ole koskaan tarkasteltu laajana kokonaisuutena. Laajennuksien yhteydessä olevat dokumentit koskevat ainoastaan laajennetun sähköverkon osaa.

Ecodial Advanced Calculation on sähköverkon mallinnusohjelma, jonka on kehittänyt Schneider Electric. Ohjelmalla voidaan tarkastella sulakkeiden ja johdonsuojakatkaisijoiden selektiivisyyttä, kaapelien poikkipinta-aloja, tehojen arvoja, oikosulkuvirran arvoja ja harmonisten yliaaltojen vaikutusta sähköverkon toimintaan. Ecodial Advanced Calculation -ohjelmasta käytetään 4.7 versiota.

Aluksi työssä tutkitaan sähköverkon mallinnukseen liittyvää teoriaa. Tämän jälkeen käydään läpi, kuinka Ecodial Advanced Calculation -ohjelma toimii. Lopussa ovat tulokset ja pohdinta osuus.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia jätevedenpuhdistamon suojauksen toimivuutta. Ohjelman tuloksista tehdään taulukkolaskentaohjelmalla varmennuslaskelmat. Laskelmien tarkoituksena on varmistaa ohjelman luotettavuus verkon mallinnuksessa. Samalla luodaan koko laitoksen sähköverkosta malli, jota voidaan jatkossa hyödyntää laitoksen huoltotöissä.

2 Joensuun Vesi

Joensuun Vesi on Joensuun kaupungin liikelaitos, joka on jaettu puhtasvesipuoleen ja jätevedenpuhdistukseen. Puhtasvesipuoli huolehtii jatkuvasta veden tuottamisesta ja puhtaan veden jakelusta asiakkaille. Jätevedenpuhdistamo puhdistaa jätevedet täyttämään ympäristölupaviraston asettamat vaatimukset. Jätevesi käy läpi kolmivaiheisen prosessin, jossa aluksi poistetaan kiinteä aine. Prosessi jatkuu orgaanisten aineiden poistamisella biologisesti. Viimeiseksi vedestä poistetaan osa typpeä ja fosforia. Puhdistuksen jälkeen vesi pumpataan Pielisjoen pohjassa olevaa putkea pitkin jokeen.

Jätevedenpuhdistustehtävissä työskentelee yhteensä viisitoista työntekijää. Joensuun Vesi omistaa neljä jätevedenpuhdistamoa, joista Kuhasalossa sijaitseva puhdistamo on suurin. Kuhasalon jätevedenpuhdistamo on rakennettu 1975, minkä jälkeen siellä on tehty suuria laajennuksia vuosina 1987, 1992, 2000 ja 2014. Laajennuksien yhteydessä sähkökeskusten määrä lisääntyi, ja vanhojen keskusten sisältöä muutettiin. Opinnäytetyö perustuu laajennuksien yhteydessä tehtyihin sähköpiirustuksiin ja dokumentteihin.

Puhdistamolla kului lokakuussa 2014 sähköä noin 274 000 kWh, mikä oli kulukseltaan suurin kuukausi vuonna 2014. Tällä hetkellä sähkökeskuksilta lähtöjä on noin 900 kappaletta ja sähkökeskuksia on 24. Moottorilähtöjä jätevedenpuhdistamolla on noin 500. Puhdistamolla on käytössä oma kaasugeneraattori, jota käytetään tuottamaan sähköä laitoksen omiin tarpeisiin ja ylijäämä myydään sähköyhtiölle. Kaasugeneraattori ei kykene tuottamaan tehoa koko laitokselle, joten sitä ei huomioida tehtävässä mallinnuksessa.

3 Sähköverkon mallinnuksen teoria

Teoriaosuudessa käsitellään, kuinka erilaiset jakelujärjestelmät vaikuttavat suojaukseen. Luvussa käsitellään erilaisten suojien ominaisuuksia ja ohjeita suojien oikeanlaiseen valintaan.

3.1 Jakelujärjestelmät

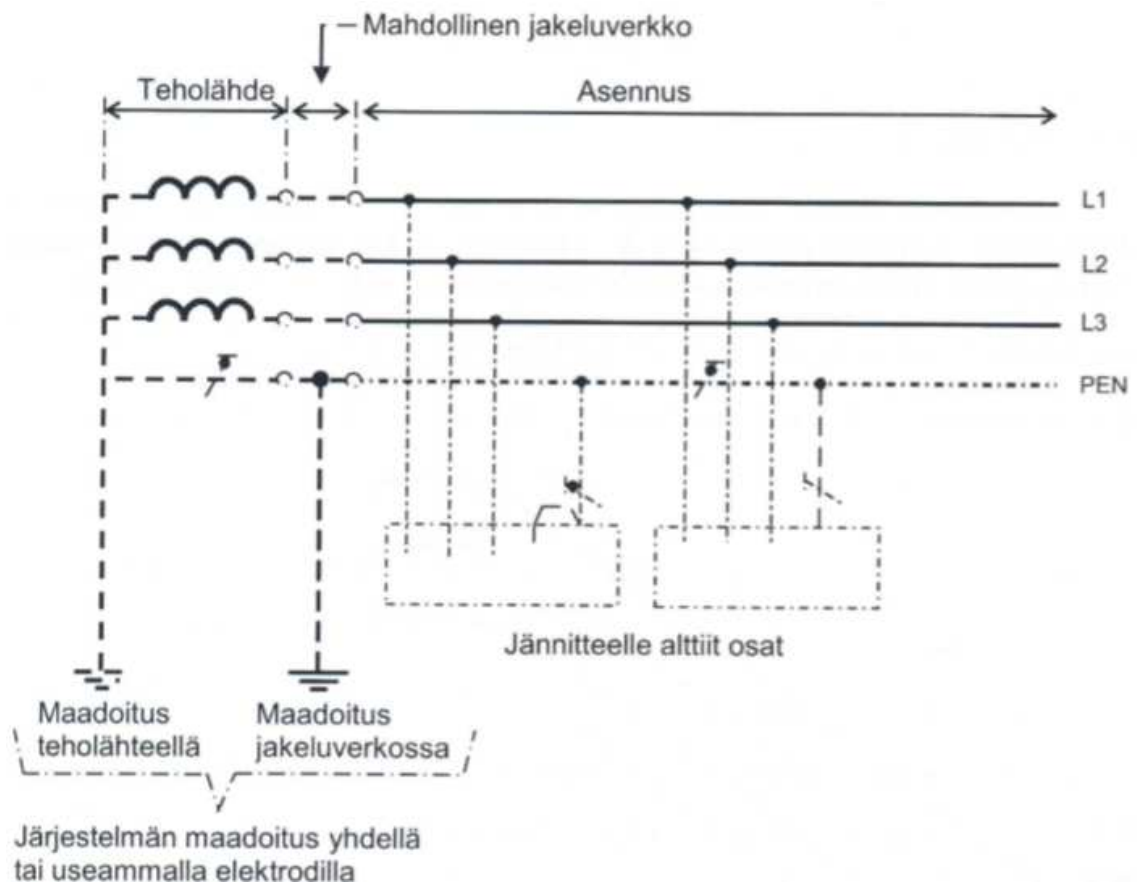
Jakelujärjestelmät jakautuvat neljään erilaiseen ratkaisuun. Järjestelmää valittaessa täytyy ottaa huomioon, millainen kohde on kysymyksessä. Jakelujärjestelmien erona on niiden maadoitustapa sekä suojajohtimen käyttö. TN-järjestelmissä maadoitetaan yleensä kolmivaihejärjestelmän tähtipiste, joka sijaitsee pääkeskuksessa [2, s. 63]. Järjestelmien kirjaintunnukset ovat taulukossa 1.

Taulukko 1. Maadoitusjärjestelmien kirjainten merkitykset [3, s. 70].

Kirjaimet	Merkitys
Ensimmäinen T	Piste on suoraan maadoitettu yhdestä pisteestä
I	Jännitteisiä osia ei ole maadoitettu tai piste on maadoitettu impedanssin avulla
Toinen T	Jännitteiset osat on yhdistetty maahan galvaanisesti
N	Maadoitus on tehty jakelujärjestelmän maadoituspisteessä
Lisäkirjain S	Nolla- ja suojajohdin ovat erillisinä
Lisäkirjain C	Yksi johtiminen PEN-johdin, jossa on yhdistetty nolla- ja suojamaajohdin

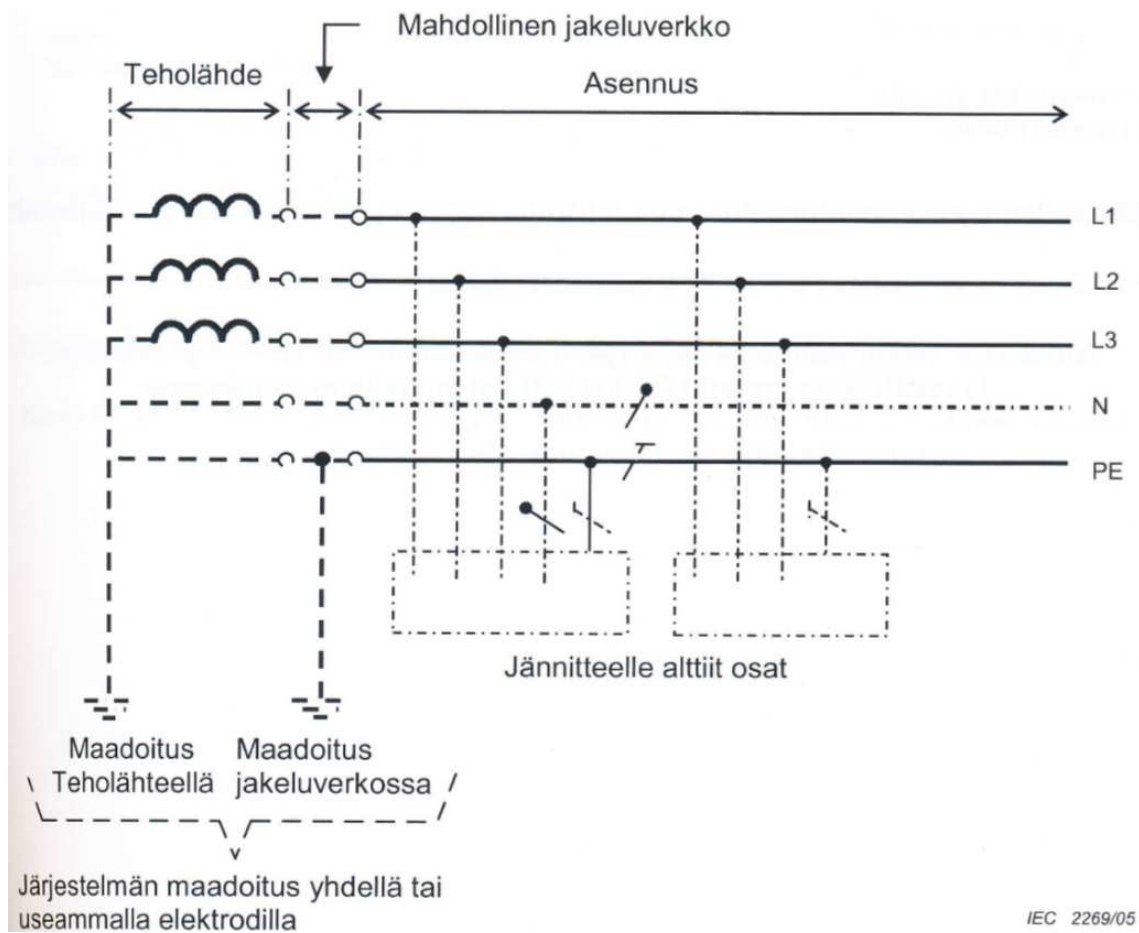
Suomessa jakeluverkko on tehty TN-C-järjestelmänä (kuva 1). TN-C-järjestelmässä on koko asennuksen matkalla sama johdin, joka toimii

suoja- ja nollajohtimena. Kolmivaihejärjestelmässä johtimia on kolme vaihejohtinta ja PEN-johdin. Nykyään TN-C-järjestelmä vaatii käytettäväksi vähintään 10 mm² kuparia tai 16 mm² alumiinia PEN-johtimen poikkipinta-alana. Poikkipinta-ala on määrätty paljon suuremmaksi, koska se ehkäisee nollajohtimen katkeamisen. Nollajohtimen katkeamisesta voisi aiheutua laitteen kuoren tuleminen jännitteiseksi, joka aiheuttaisi sähköiskun vaaran. Nykyään käytetään paljon häiriöherkkiä laitteita, jolloin TN-C-järjestelmän PEN-johtimessa olevat häiriövirrat voivat vioittaa herkkiä laitteita [2, s. 63,67].



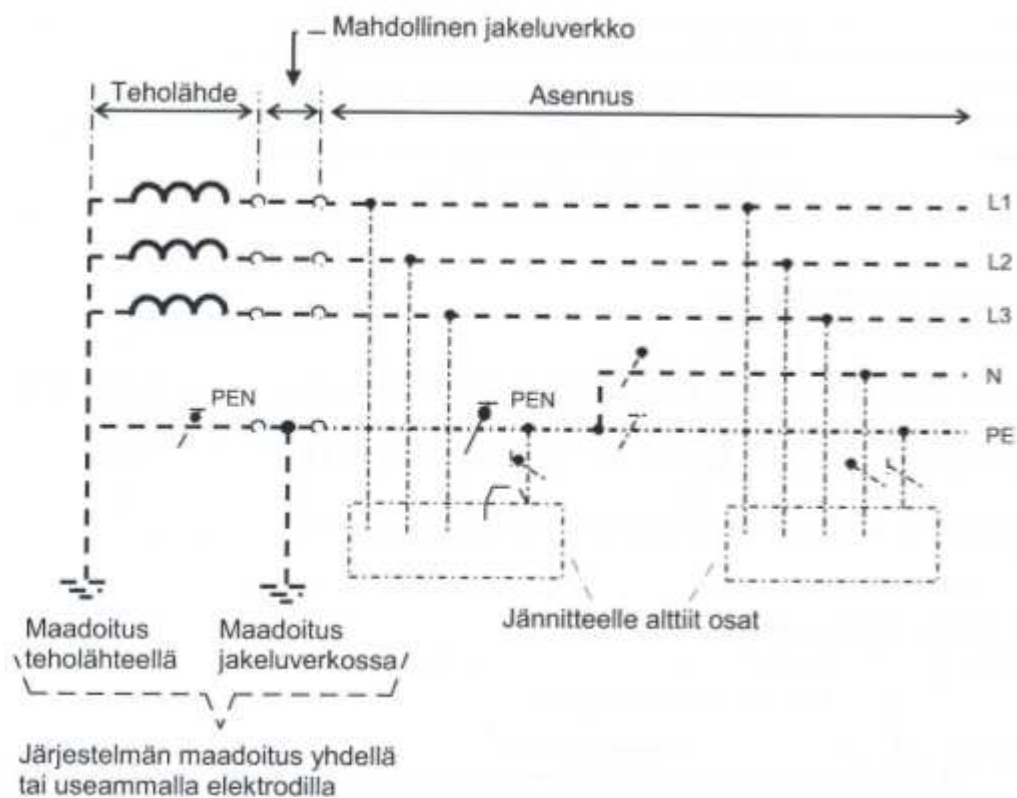
Kuva 1. TN-C-järjestelmä [3, s. 73]

TN-S-järjestelmää suositellaan käytettävän kaikissa uudisasennuksissa. TN-S-järjestelmässä yhdistetään syöttöpuolelta tuleva PEN-johdin nollakiskoon ja suojakiskoon. Kiskojen välille pitää asentaa yhdistyslevy. Järjestelmässä kulkee erillinen suojamaajohdin, sekä nollajohdin (kuva 2). Kuorman ollessa symmetrinen ei nollajohdinta tarvitse kytkeä. Johtimia järjestelmässä on tavallisesti kolme vaihejohtinta, nolla- ja suojamaajohdin. [2, s. 63.]



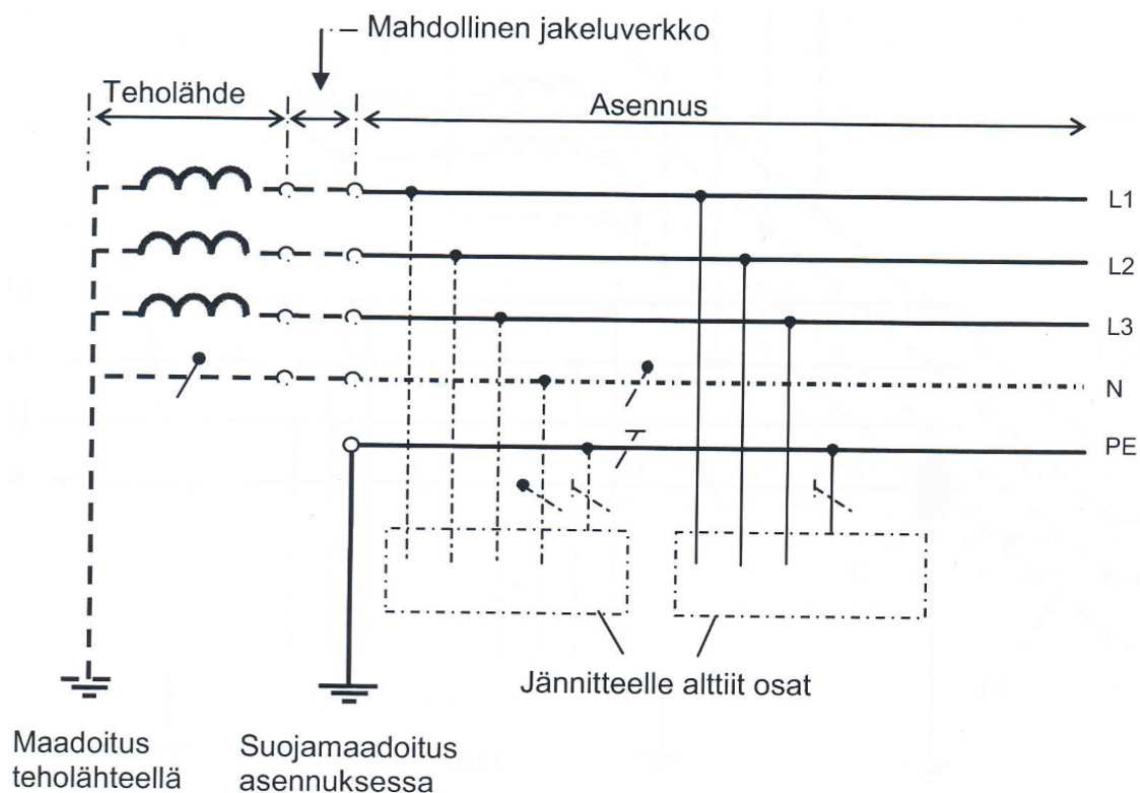
Kuva 2. TN-S-järjestelmä [3, s. 71].

TN-C-S-järjestelmä on yhdistelmä aiempia järjestelmiä (kuva 3). Kiinteistön kannalta katsottuna järjestelmä on yleensä TN-C-S, koska jakeluverkko on TN-C ja kiinteistössä oleva sähköverkko on TN-S. Suojamaajohdinta ja nol-lajohdinta ei saa enää erottamisen jälkeen yhdistää kiinteistössä. [2, s. 62]



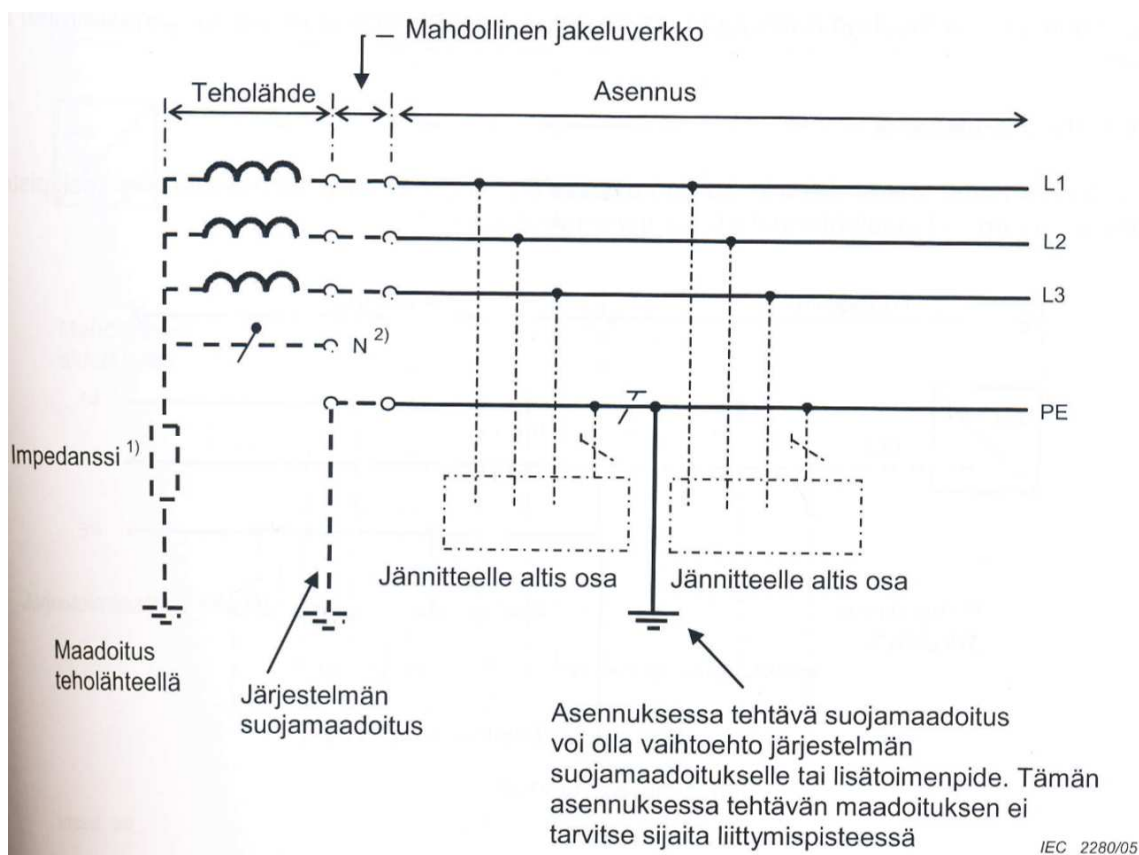
Kuva 3. TN-C-S-järjestelmä [3, s. 72].

Kuvassa 4 on TT-järjestelmän rakenne. TT-järjestelmässä on samalla tavalla kuin TN-järjestelmissä yksi piste maadoitettu. Järjestelmässä käytetään erillistä maadoitusta jännitteelle alttiilla osilla esimerkiksi laitteiden koteloissa. Syöttävän verkon maadoituselektrodin on oltava erillään laitteiden maadoituksesta [2, s. 63].



Kuva 4. TT-järjestelmä [3, s. 75].

IT-järjestelmä on niin sanottu "kelluva verkko", joka on maasta erotettu järjestelmä (kuva 5). Järjestelmässä on yhteinen tai erillinen maadoituselektrodi, johon laitteet kytketään. IT-järjestelmässä voidaan käyttää myös syöttävän verkon maadoituselektrodiä. Impedanssin välityksellä voidaan kytkeä IT-järjestelmä maahan. Tällöin pitää käyttää vastusta, jonka koko riippuu kohteesta. Nollajohdinta ei suositella käytettäväksi järjestelmässä. [2, s. 66]



Kuva 5. IT-järjestelmä [3, s. 77].

Jakelujärjestelmien yhdistelmiä voi käyttää samassa sähköverkossa. Esimerkiksi TN-C-S-järjestelmä on yhdistetty. Kuitenkin TN-S-C-sähköverkon tekeminen on kiellettyä. TN-S-järjestelmä on yleinen etenkin teollisuudessa, koska verkon häiriösuojauksen ja turvallisuuden tasot ovat hyviä. Kohteissa, joissa ei haluta viasta aiheutuvia yllättäviä sähkökatkoja, käytetään IT-järjestelmää. Esimerkiksi sairaaloiden leikkaussaleissa on IT-järjestelmä. Vian sattuessa IT-järjestelmässä on kuitenkin varmistuttava siitä, että vika pystytään paikantamaan tarkasti. TT-järjestelmiä käytetään asennuksissa, joissa on pitkät syöttöjohtimet. Kuitenkin Suomessa järjestelmän käyttö on harvinaista [2, s. 68].

3.2 Ylikuormitussuojaus

1990-luvulla tuli muutoksia sulakesuojauksiin. Määräysten mukaan oikosulku- ja ylikuormitussuojaukseen soveltuvia sulakkeita ovat ainoastaan gL ja gG. Sa-

malla poistui käytöstä sulakkeiden jaottelu yleisiin ja hitaisiin sulakkeisiin. Sulakkeiden kirjainyhdistelmä gG tarkoittaa kokovirta-alueella toimivaa yleissulaketta. Osavirta-alueella toimiva moottorisuojasulakkeen kirjainyhdistelmä on aM. Lyhenne gM on kokovirta-alueella toimiva moottorisuojasulake. [4]

Normaalissa käyttötilanteessa ylikuormitussuojauksessa sulake estää lämpötilan kasvamisen virtapiirissä liian suureksi. Lämpötila voi vahingoittaa piirissä olevia komponentteja. Määräyksissä vaaditaan ylikuormitussuojien käyttöä virtapiireissä. Käytettäessä sulakkeita ylikuormitussuojina ne on mitoittettava 1.45 kertaa suuremmiksi kuin sulakkeen nimellisvirta (kaava 1). Muuten sulake ei katkaise virtapiiriä välttämättä tarpeeksi nopeasti. Yleensä ylikuormitussuojan on toimittava enintään tunnissa. [4]

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

jossa I_n on suojalaitteen nimellisvirta

I_z on johtimen jatkuva kuormitettavuus

k on sulakkeen ylemmän sulamisrajavirran ja sulakkeen nimellisvirran suhde

Ylikuormitussuojan voi jättää pois, jos sen yllättävä laukeaminen aiheuttaisi vaaratilanteen esimerkiksi pyörivien koneiden magnetoimispiireissä, palonsammutusjärjestelmissä tai turvajärjestelmissä. Ylikuormitussuojaa ei tarvita virtapiireissä, joissa verkon ylempi suojalaite suojaa myös alemman virtapiirin tai johdoissa, jotka eivät todennäköisesti ylikuormitu. Tietoliikenneasennuksissa, liittymisjohdoissa tai jakeluverkon kohdassa, joka on suojattu jakeluverkon omilla suojoilla, ei tarvita erillisiä ylikuormitussuojia. [3, s. 131]

Johdonsuojakatkaisija voidaan mitoittaa suoraan johtimen kuormitettavuuden perusteella. Esimerkiksi johtimen kuormitettavuuden ollessa 26 A voidaan valita 25 A:n johdonsuojakatkaisija. [2, s. 135]

3.3 Oikosulkuvirtasuojaus

Oikosulku tapahtuu, kun kahdessa eri potentiaalissa olevat johtimet koskettavat toisiaan. Tällöin impedanssi pienenee ja virta kasvaa. Virran kasvaessa lämpötila nousee, josta voi aiheutua vaurioita sähkölaitteistolle, jos suojaus ei toimi.

Oikosulkusuojaus täytyy toteuttaa kaikissa sähköverkon virtapiireissä. Suojien on katkaistava oikosulkuvirta viimeistään lämpötilan kasvaessa suurimpaan sallittuun laukaisuarvoon. Standardin mukaan 500 V:n kahvavarokkeilla pitää olla vähintään 50 kA:n katkaisukyky ja tulppasulakkeilla 20 kA:n. Johdonsuojakatkaisijoilla arvot ovat pienempiä 1.5 kA, 3.0 kA, 6.0 kA ja 10 kA. Valmistajat voivat tehdä katkaisukyvyltään parempia suoja, joten katkaisukyky kannattaa aina varmistaa valmistajalta. [4]

Ylivirtasuojaus on oikosulkuvirtasuojauksen ja ylikuormitussuojan yhdistelmä. Poiskytkennän on tapahduttava alle 0.4 sekunnissa, kun ylivirtasuojana käytetään enintään 32 A suoja. Yli 32 A ylivirtasuojissa laukaisun on tapahduttava viidessä sekunnissa. Poiskytkentäajan voi todeta kaavalla 2. Kaavan virhe on maksimissaan 10 %, mutta laskennassa virhe pienentää oikosulkuvirtaa verrattuna todelliseen. [2, s. 92,95]

$$I_k = \frac{c \times U}{\sqrt{3} \times Z} \quad (2)$$

jossa I_k on pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta (A)

c on kerroin 0,95, joka ottaa huomioon jännitteenaleneman liittimisissä, johdoissa, sulakkeissa, kytkimissä jne.

U pääjännite (V)

Z virtapiirin kokonaisimpedanssi, joka muodostuu

- jakelumuuntajaa edeltävän verkon impedanssista
- muuntajan impedanssista
- muuntajan jälkeisten johtimien impedanssista.

Oikosulkuvirtasuojaukseen ei tarvitse erikseen tarkastella, jos suoja toimii myös ylikuormitussuojana. Kuitenkin valittavan suojan katkaisukyky tulee pystyä katkaisemaan suurin esiintyvä oikosulkuvirta virtapiirissä. Käytettäessä erillistä oikosulkuvirtasuojaa, jonka nimellisvirta on suurempi kuin ylikuormitussuojan arvo, täytyy suojauksen toteutuminen todeta erikseen kaavalla 3. [4]

$$t = \left(\frac{k \times A}{I} \right)^2 \quad (3)$$

jossa t on kesto aika sekunteina

A on johdinpoikkipinta-ala (mm²)

I oikosulkuvirta (A)

k on 115, kun johtimet ovat PVC-eristeisiä kuparijohtimia,
143, kun PEX tai EPR eristettyjä kuparijohtimia,
76, kun johtimet ovat PVC-eristeisiä alumiinijohtimia,
94, kun PEX tai EPR eristettyjä alumiinijohtimia
115, kun kyseessä on tinalla juotetut kuparijohtimien liitokset, mikä vastaa 160 °C:n lämpötilaa.

3.4 Katkaisijat

Katkaisijoita käytetään erityisesti pääkeskuksissa ja alakeskusten yhteydessä. Katkaisijoiden tehtävänä on avata tai sulkea virtapiiri. Katkaisijan koskettimien avautuessa virtapiiri tulee jännitteettömäksi ja sulkeutuessa virtapiiri tulee jännitteelliseksi. Virtapiirin avautuessa syttyy valokaari. Valokaari sammutetaan viemällä katkaisijassa olevia kosketinpisteitä kauemmaksi toisistaan ja samalla valokaarta jäähdytetään. Valokaari muuttuu lopulta eristeeksi ja virtapiiri tulee jännitteettömäksi. Jäähdyttämisessä käytetään erilaisia väliaineita, jotka kuumuuden vaikutuksesta hajoavat kaasuiksi ja jäähdyttävät valokaarta. Tärkeä osa jäähdytystä on kiinteiden seinämien käyttö, koska valokaaren osuessa seinämiin lämpö jakautuu lämmönjohtavuuden ansiosta seinämateriaaliin. Valo-

kaaren syttyessä kosketinmetalli sulaa, mikä vähentää katkaisijan käyttöikää. Katkaisijat jaetaan automaattisiin ja manuaalisiin katkaisijoihin. Katkaisijoiden tulee pystyä katkaisemaan virtapiirissä olevat suurimmatkin virrat. [5, s. 163,165]

Ilmakatkaisijoissa on yleensä kahdet koskettimet, joista pääkoskettimissa kulkee virta niiden ollessa suljettuina. Virtapiirin avautuessa ensimmäisenä aukeavat pääkoskettimet, joiden jälkeen aukeavat valokaarikoskettimet. Valokaarisammu, kun koskettimet viedään erille toisistaan nopeasti valokaarisuojuksen läpi. Valokaarisuojaus koostuu useista välilevyistä, joiden välille valokaari syttyy ja jäähtyy. Erillisten valokaarikoskettimien tarkoituksena on säästää pääkoskettimia valokaaren aiheuttamilta haittavaikutuksilta. [5, s. 172]

Kompaktikatkaisijoita käytetään yleensä 800–1600 A:n virroilla. Kompaktikatkaisijat soveltuvat pääkeskuksien, alakeskuksien, kaapelien ja pienien laitteistojen suojaukseen. Kompaktikatkaisijat on valmistettu koteloon, jossa eristeaine on kiinteänä osana rakennetta. [6, s. 4,6]

3.5 Selektiivisyys

Selektiivisyys tarkoittaa vikapaikkaa lähinnä olevan suojan laukeamista. Selektiivisyyden toteutuessa mahdollisimman pieni osa sähköverkkoa kytkeytyy jännitteettömäksi. Epäselektiivisyys tarkoittaa useamman suojan laukeamista. Epäselektiivisyys voi myös olla kokonaan toimimaton suojaus, joka voi johtua vääristä komponenttivalinnoista tai asetteluarvoista. Vakioaikaisessa asettelussa vikavirran ylittäessä kynnyiskohtasuojan toiminta-aika on vakio. [7]

Aikaselektiivisyydessä on suojien toimintaa hidastettu ajallisesti. Esimerkiksi syötönpuolella olevat suojat toimivat hitaammin kuin verkon loppupään suojat. Käänteisaikaisessa toiminnassa suoja toiminta-aika on kääntäen verrannollinen virran arvoon. Virran arvon kasvaessa toiminta-aika pienenee. Perinteiset sulakkeet käyttävät käänteisaikaselektiivisyyttä. [7]

Virtaselektiivisyydellä selektiivisyys on toteutettu oikosulkuvirran suuruuden avulla. Suojat valitaan niin, että sähköverkon loppupää on herkempi kuin alkupää, jolloin herkemäksi aseteltu suoja laukeaa nopeammin, kuin alkupään suoja. Oikosulkuvirta on suurin lähellä vikapaikkaa, joten suojien selektiivisyys toteutuu. [7]

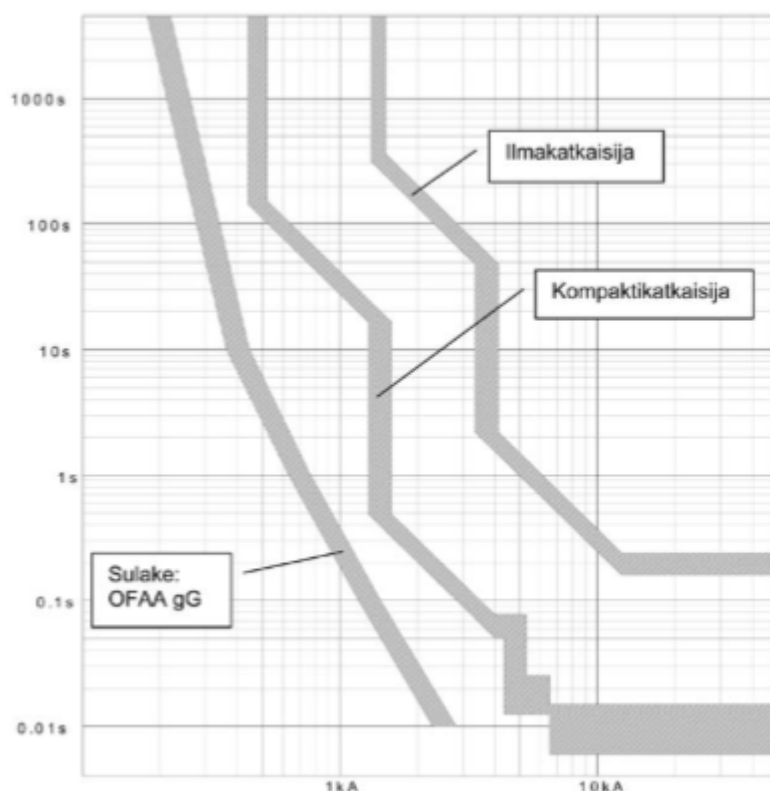
Suuntaselektiivisyys on käytössä jakeluverkkopuolella. Kyseessä pitää olla rengasasennus tai useamman syötön sähköverkko, että tapaa kannattaa käyttää. Releet tarkastelevat oikosulkuvirran suuntaa ja oikosulkuvirran suuruutta. Suojaus pystyy virran suunnan avulla erottamaan pienen osan rengasverkosta. [7]

Lukitusuojauksessa lähimpänä vikapaikkaa oleva suoja lähettää virtapiirissä ylöspäin käskyn seuraavalle suojalle pysyä lukittuna. Kun käsky on toimitettu onnistuneesti, vikapaikkaa lähempänä oleva suoja avautuu. Lukitusuojaus on yleensä käytössä keskijänniteverkossa ja sitä suuremmilla jännitteillä. [7]

Selektiivisyyttä toteutettaessa sulakkeilla suositellaan käytettävän yhden sulakkeen eroa peräkkäisillä sulakkeilla. Sulakkeet tulee valita minimi-tilan oikosulkuvirran kannalta sopiviksi. Pienet ylikuormitustilanteet ovat ongelmallisia suoja valittaessa, koska sulakkeilla on suuret toleranssit. Toleranssin takia suojien toiminnassa on epävarmuutta ja joudutaan valitsemaan kooltaan seuraava sulakkeen koko. Sulakkeiden kasvaessa pienenee johtimien kuormitettavuus. Tällöin voidaan joutua myös kasvattamaan johtimien poikkipinta-alaa. [7]

Johdonsuojakatkaisijoiden ja sulakkeiden yhdistelmissä pitää tarkastella selektiivisyyskäyriä. Käyrien avulla saadaan valittua oikeanlainen yhdistelmä suojusta. Eri valmistajien tuotteiden laukeamiskäyrät ovat hieman erilaiset, joten kannattaa käyttää yhden valmistajan suoja selektiivisyyden toteuttamisessa. [7]

Kuvasta 6 nähdään, kuinka virran kasvaessa suojien toimintanopeus kasvaa. Esimerkiksi tapauksessa, jossa virta olisi 1 kA, laukeaisi ensimmäisenä noin 0.1 s OFAA gG sulake. Jos vika ei poistuisi, laukeaisi seuraavaksi kompaktikatkaisija. Tapauksessa, jossa virta kasvaa nopeammin, kuin 0.01 sekunnissa 7 kA ei OFAA gG sulake toimisi. Tällöin kompaktikatkaisija laukeaisi ensimmäisenä.



Kuva 6. Esimerkki erään valmistajan toimintakäyristä [6].

3.6 Lisäsuojaus

Lisäsuojauksessa käytetään vikavirtasuojia. Vikavirtasuojien tarkoituksena on lisätä sähköturvallisuutta ja estää sähköiskuja. Vikavirtasuojat pitää asentaa pistorasioiden yhteyteen. Vikavirtasuoja voi sijaita sähkökeskuksessa tai pistorasiassa. Vikavirtasuoja laukeaa, kun viallinen sähkölaite liitetään pistorasiaan tai sähkölaitteeseen tulee käytönaikainen vika.

Kotitalouskäytössä voidaan jättää vikavirtasuojat pois, kun vikavirtasuojan laukeaminen voisi aiheuttaa haittaa kiinteissä asennuksissa, kuten jääkaapeissa ja pakastimissa. Teollisuudessa vikavirtasuojia ei tarvitse käyttää teollisuuskoneiden, valaisimien ja sähkömoottoreiden kiinteissä asennuksissa. Vikavirtasuojan voi jättää pois laitteissa, joilla on suuri vuotovirta tai laitteet ovat herkkiä sähkökatkoksiille. Jos huoneessa on vikavirtasuojattomia pistorasioita, huoneessa

pitää olla myös vikavirtasuojattuja pistorasioita. Pistorasian käyttötarkoituksen ollessa epäselvä, pitää ilman vikavirtasuojaa olevat pistorasiat varustaa opaskilvillä. [3, s. 114,115]

3.7 Johtimien mitoittaminen

Johtimet valitaan kuormitettavuuden perusteella. Mitoituksella voidaan arvioida kuinka suuri kuorma voidaan liittää kaapelin päähän. Kuorman ollessa tiedossa voidaan mitoittaa kaapeli virtapiiriin. Kaapelin kuormitettavuuteen vaikuttaa valittu kaapelin materiaali, asennustemperatuurilämpötila ja asennustapa. Sama kaapeli kulkee yleensä monen erilaisen asennustavan läpi. Asennustapoja ollessa monia pitää valita korjauskertoimiltaan huonoin asennustapa [3, s. 222]. Näin pystytään varmistamaan, ettei johdin ylikuormitu missään tilanteessa. Lämpötila kasvaa ylikuormitustilanteessa, jolloin kaapeleiden käyttöikä lyhenee.

Referenssiasennustapojen korjauskertoimet on määritetty laskemalla tai testaamalla. Referenssiasennustavat vaikuttavat olennaisesti johtimien kuormitettavuuteen. Asennustavat on jaettu seitsemään erilaiseen asennustapaan, joista on tehty johtimien kuormitettavuus taulukot. [3, s. 242,243]

Ympäristön lämpötilan ollessa yli 25 °C korjauskerroin heikkenee ilma-asennuksissa. Maan lämpötilan ollessa yli 15 °C korjauskerroin heikkenee. Molemmissa tapauksissa eristeen materiaali vaikuttaa kertoimen paranemiseen tai heikkenemiseen. Korjauskerroin paranee ja johdinta voidaan kuormittaa lisää, jos lämpötila on alle 25 °C tai 15 °C. Kaapeli jäähtyy paremmin, joten kuormitettavuus paranee. Lämpötilat poikkeavat eurooppalaisesta standardista, koska Suomen ympäristölämpötila on kylmempi. Euroopassa vastaavat lämpötilat ovat 30 °C ja 20 °C. [3, s. 240]

Asennustavan ja ylikuormitussuojan ollessa tiedossa pitää ylikuormitussuojan tarvitsema virta jakaa korjauskertoimilla. Tämän jälkeen katsotaan kaapelien kuormitettavuustaulukosta sopiva kaapeli. Kaapelin ollessa tiedossa pitää ottaa arvo kaapelien kuormitettavuustaulukosta ja kertoa otettu arvo korjauskertoimel-

la. Arvoa verrataan ylikuormitussuojien virtataulukkoon ja valitaan sopiva suoja. [3, s. 257]

3.8 Jännitteenalenema

Jännitteenalenema voi aiheuttaa laitteiden toimimattomuutta ja rikkoja. Herkkiä laitteita ovat laitteet, jotka sisältävät elektroniikkaa esimerkiksi logiikat ja taajuusmuuttajat. Jännitteenalenema saa olla maksimissaan $\pm 10\%$ [7]. Kuitenkin jakeluverkosta syötettävälle valaistukselle suositus on $\pm 3\%$ ja $\pm 6\%$ muille laitteille. Käynnistyksen yhteydessä oleva jännitteenalenema voi olla suurempi kuin $\pm 10\%$. Kaavoilla 4 ja 5 saadaan laskettua jännitteenalenema. [3, s. 262,263]

$$u = b\left(\rho_1 \frac{L}{S} \cos \varphi + \lambda L \sin \varphi\right) I_b \quad (4)$$

jossa u on jännitteenalenema voltteina

b kerroin, joka on 1 kolmivaiheisille ja 2 yksivaihepiireille

ρ_1 on johdinmateriaalin resistiivisyys normaalikäytössä. 0,0225 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ kuparille ja 0,036 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ alumiinille

L on johtojärjestelmän pituus metreinä

S on johtimien poikkipinta-ala mm^2 :nä

$\cos \varphi$ on tehokerroin. Jos ei ole tiedossa tarkkoja tehokertoimen arvoja, sen oletetaan olevan 0,8

λ on johtimen reaktanssi johtimen pituusyksikköä kohden. Jos ei ole tiedossa tarkkoja arvoja, reaktanssin oletetaan olevan 0,08 $\text{m}\Omega/\text{m}$

I_b suunniteltu virta ampeereina

$$\Delta u = 100 \frac{u}{U_0} \quad (5)$$

jossa Δu on jännitteenalenema prosentteina

u on jännitteenalenema voltteina

U_0 on jännite vaiheen ja nollan välillä voltteina

Jännitteenalenemaa voidaan pienentää kasvattamalla syöttävien kaapelien poikkipinta-alaa. Vaihtovirralla toimivien moottoreiden käynnistyksessä tapahtuvaa jännitteenalenemaa voidaan pienentää käyttämällä taajuusmuuttajia, pehmokäynnistimiä tai tähti-kolmio-käynnistintä. Kytkemällä laitteet, jotka ovat herkkiä alijännitteelle omiin sähkökeskuksiin, voidaan jännitteenalenemaa pienentää. [8]

4 Mallinnus ja laskelmat ohjelmalla

Mallinnusohjelma on pakollinen tutkittaessa suuria kohteita, koska tekemällä kaikki laskelmat käsin aikaa kuluu paljon. Välivaiheiden lisääntyessä virheiden todennäköisyys kasvaa. Erilaisia mallinnusohjelmia ovat Febdok, DOC 2, Ecodial Advanced Calculation ja SIMARIS. Febdok ja ABB DOC on mahdollista käyttää suomenkielisinä. SIMARIS ja Ecodial Advanced Calculation ovat englanninkielisiä. Jätevedenpuhdistamon sähköverkon mallinnuksessa käytetään Ecodial Advanced Calculation -mallinnusohjelmaa, joka on saatavissa Schneider Electricin kotisivuilta. Ohjelma on ilmainen, missä on kolmenkymmenen päivän kokeilu-aika. Kokeiluajan jälkeen ohjelman käyttöä voi jatkaa täyttämällä sähköisen rekisteröintilomakeen.

4.1 Projektin luominen

Ohjelman käynnistyessä ensimmäisestä valikosta voidaan valita luodaanko uusi projekti vai ladataanko tallennettu projekti. Linkit Schneider Electricin opetusvideoihin löytyvät samasta valikosta.

Uuden projektin luonnin jälkeen on hyvä käydä muuttamassa "Project parameters" -välilehdestä asetuksia (kuva 7). "Electric network" -kohdassa on verkon taajuus, tavoite tehokerroin ja loistehon kynnyksiarvo. "Surge Protection Device"

tarkoittaa otetaanko ylijännitesuojausta huomioon laskelmissa. "Device selection" -kohdassa määritellään tehdäänkö selektiivisyyden tarkastelua viimeisessä laitteessa. "Fuse default values" -valikossa on sulakkeiden teknologia ja valitaanko vaihdettavalla langalla oleva sulake vai normaali sulake. "LV cable" -kappaleessa on mitoituksessa käytettävä valintoja suurin kaapelin poikkipinta-ala, pienennetty nollajohdin, ympäröivien lämpötilojen arvot ilmassa ja maassa, suurin hyväksyttävä jännitteenalenema ja mitoitusvirran tyyppi. "BTS" -kohdassa on virtakiskon asetuksia. "Load characteristic" -kohdasta voidaan valita suurimmat sallitut jännitteenalenemat valaistuksessa, moottoreissa, pistorasioissa ja tavallisissa kuormissa.

Electrical network	
Network frequency	50 Hz
Target PF	0.6
Reactive power threshold above which power factor correction is required	50 kvar
Surge Protection Device	
Enable / Disable Surge Protection Device Calculation	No
Device selection	
Implement cascading for the final protective devices?	No
Fuse default values	
Technology	DIN
Selection of fuses alone or with fuse carrier	Alone
LV cable	
Maximum permissible cable CSA	300 mm ²
Reduced neutral?	Full
Default ambient temperature for cables, exposed to air	30 °C
Default ambient temperature for cables in the ground	20 °C
Default value for the cable maximum permissible voltage drop	2 %
Default sizing current	In
BTS	
Default ambient temperature for BTS	35 °C
Default value for the BTS maximum permissible voltage drop	2 %
Load characteristics	
Maximum total voltage drop for "generic loads"	5 %
Maximum total voltage drop for "power socket" loads	5 %
Maximum total voltage drop for "lighting" loads	3 %
Maximum total voltage drop for "motor" loads	5 %

Kuva 7. "Project parameters" -välilehti

4.2 Projektin asetukset

"Project parameters" välilehden muutoksia ei ole pakollista tehdä heti aloituksen yhteydessä. Asetuksien valittaessa voidaan päättää muutetaanko ne koko projektiin vai pelkästään uusiin komponentteihin. Asetukset kannattaa laittaa oikein heti alussa, koska myöhemmin muutettaessa ohjelmisto voi kaatua. Kaikki "project parameters" välilehdellä olevat asetukset voidaan tarvittaessa valita komponenttikohtaisesti.

4.3 Sähköverkon mallinnus ohjelmalla

"Design and sizing" -välilehdessä luodaan varsinainen sähköverkon malli. Komponentit lisätään malliin raahaamalla objekti valikosta. Objektivalikko avautuu painamalla kynän kuvaa ohjelmassa. "Source" -kohdassa on erilaiset syöttävät lähteet, esimerkiksi pienjännitelähde tai syötön kompensointi. "Distribution" -valikossa on mahdollisuus valita erilaisia virtakiskoja. "Lightning BTS" -kohdassa on virtakiskoon liitettävät valaisimet. "Feeder circuit" -valikossa on komponentit, joilla liitetään kiskot toisiinsa muun muassa kaapeli/suoja/katkaisija -yhdistelmä tai pelkkä suoja ilman kaapelia. "LV/LV transformer" -valikossa on pienjännitemuuntajat. "Coupling" -kohdassa on erilaiset virtakiskojen yhdistämiseen tarkoitettut katkaisijat ja suojat. "UPS" -kohdassa on keskeytymättömän virransyötön rakentamiseen tarvittavat komponentit. "Load" -valikossa on moottorit, pistorasiat, valaisimet ja passiiviset kuormat. Kuormien virtapiirit koostuvat suojasta, mahdollisesta kaapelista ja varsinaisesta kuormasta.

Virtapiiri pysyy kokonaan valittuna kuorman lisäämisen jälkeen. Tällöin pystytään määrittämään joitain komponenttien arvoja, esimerkiksi jakelujärjestelmä, kaapelin pituus, kuorman teho. Ohjelma täydentää automaattisesti kaksi muuta arvoa, kun ohjelmaan syötetään kuorman virran, pätötehon tai näennäistehon arvo. Valaistus virtapiirissä valitaan valaisimen tyyppi, teho ja valaisimien luku-

määrä, minkä jälkeen ohjelma laskee tehot ja virran. "Launch motor wizard" -toiminnolla saadaan määriteltyä moottorin tiedot (kuva 8). "Pouput" kohtaan pitää valikosta valita moottorin akseliteho, josta ohjelma laskee sähkötehon. Hyväksymällä tiedot ok-painikkeella päivittää ohjelma moottorin virran ja tehot päänäkymään.

✕

Motor feeder wizard for a voltage of 400 V

Selection

Motor

Poutput (kW) ?
 With thermal protection?
 I^lstart/Ir ?
 Ir (A) 🔒
 PF 🔒

Motor feeder

Power output used for sizing (kW) 0.12
 Sizing Ir 0.4
 Type of starting
 Reversing
 Istart/Ir 🔒

Thermal protection

Trip class ?
 Thermal protection type

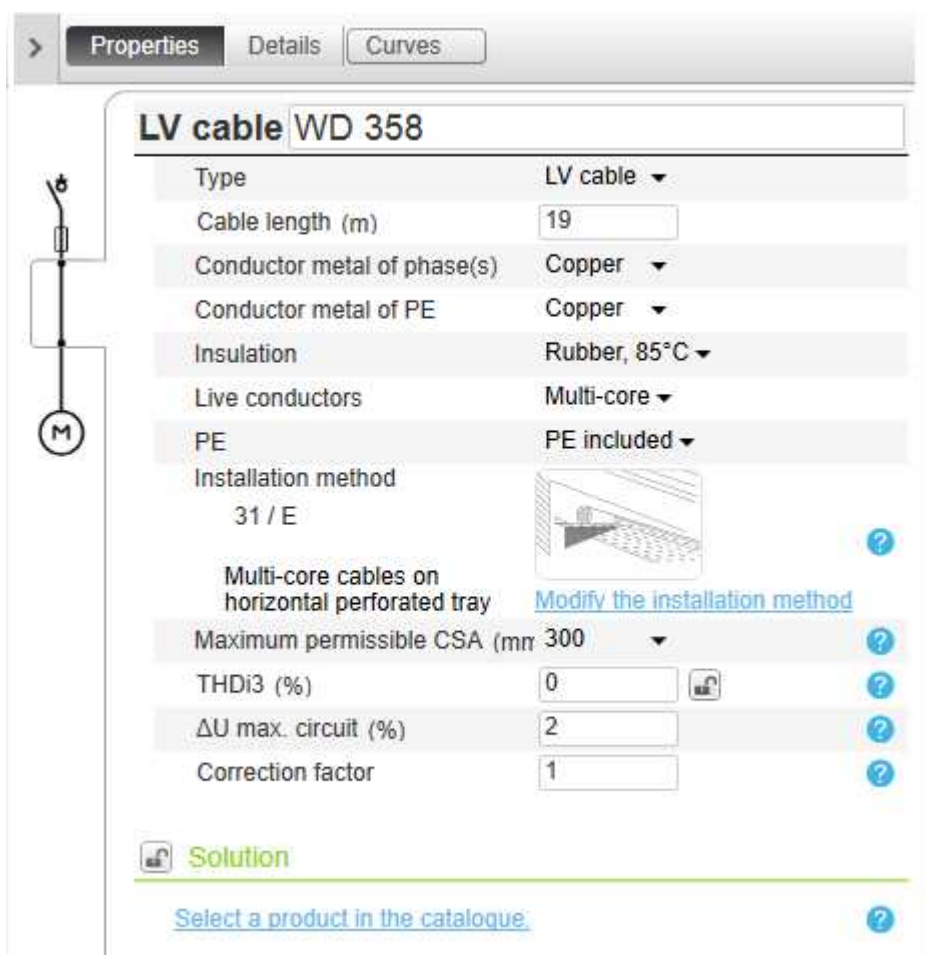
Contactors

With contactor?
 Type of coordination ?
 Contactor type

Kuva 8. Moottorin tietojen määrittäminen.

Valitsemalla ohjelmasta kaapeli sille voidaan määrittää parametrit, joilla ohjelma määrittää johtimien määrän ja poikkipinta-alan (kuva 9). Ensimmäisessä kohdassa valitaan, minkä virran mukaan virtapiiri mitoitetaan. Seuraavaksi voidaan valita kaapeli, joka on pienjännitekaapeli tai suora yhteys. Jos tyypiksi valitaan pienjännitekaapeli, seuraavaksi valitaan johtimen pituus metreissä. Valikossa on mahdollisuus valita vaihejohtimien ja suojamaan materiaali alumiinin ja kuparin väliltä. Johtimien eriste valitaan kohdasta "Insulation". Vaihejohtimien tyyppi

valitaan johtimien koostumuksen perusteella. Vaihtoehtoina on johtimen koostuminen monesta langasta tai yhdestä. Seuraavana määritellään, onko kaapelissa erillinen suojamaajohdin. Kaapelin asennustapa määritellään "Installation method" -valikosta. Lämpötilan valinnassa pitää huomioida, että ohjelman antavan kertoimen yksi lämpötilassa 30 °C. Tästä syystä simuloinnissa pitää käyttää ohjelman oletusarvoja. Kertoimet poikkeavat Suomessa käytettävistä arvoista, esimerkiksi 25 °C kerroin on 1.07 ohjelmassa ja Suomessa 20 °C on 1.05. Lopuksi määritellään kaapelin suurin poikkipinta-ala, kolmannen yliaallon suuruus, jännitteenalenema ja korjauskerroin. Kaapelien pituutta mitatessa dokumenteista pitää ottaa huomioon vaakasuoran mittauksen lisäksi pystysuora etäisyys esimerkiksi kaapelihyllyltä lattianrajassa olevaan pistorasiaan.



Kuva 9. Kaapelien parametrit.

Kaapelin ollessa tiedossa voidaan se määrittellä "Select a product in the catalogue" kohdasta (kuva 10). Ruudussa määritetään kaapelin vaihejohtimet, raken-

ne, eriste, johtimien materiaali, vaihejohtimien poikkipinta-ala ja määrä, nolajoh-
timien materiaali, poikkipinta-ala ja määrä. Valinnan hyväksymisen jälkeen luk-
ko-kuvake ”Solution” -kohdassa menee kiinni, merkiksi manuaalisesta määrittäk-
sestä. Kun valinnat lukitaan, ohjelma ei mallinnusvaiheessa voi muuttaa tietoja
automaattisesti.

Select a cable.



1. Selection

Calculated products
 Entire catalogue

Live conductors <input checked="" type="checkbox"/> Multi-core <input type="checkbox"/> Single-core <input type="checkbox"/> Insulated	Composition <input checked="" type="checkbox"/> 1Ph+N <input type="checkbox"/> 1Ph+N+PE <input type="checkbox"/> 1Ph+N, separate PE <input type="checkbox"/> 2Ph <input type="checkbox"/> 2Ph+PE <input type="checkbox"/> 2Ph, separate PE <input type="checkbox"/> 3Ph <input type="checkbox"/> 3Ph+PEN <input type="checkbox"/> 3Ph separate PFN	Insulation <input checked="" type="checkbox"/> Halogen free, 70°C <input type="checkbox"/> Halogen free, 90°C <input type="checkbox"/> XLPE 90° <input type="checkbox"/> PVC <input type="checkbox"/> Rubber, 70°C <input type="checkbox"/> Rubber, 85°C	Conductor metal of phase <input checked="" type="checkbox"/> Aluminium <input type="checkbox"/> Copper	Phase CSA <input checked="" type="checkbox"/> 1.5 <input type="checkbox"/> 2.5 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 16 <input type="checkbox"/> 25 <input type="checkbox"/> 35 <input type="checkbox"/> 50
Nbr. per phase <input checked="" type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9	Conductor metal of neutral <input checked="" type="checkbox"/> Aluminium	Neutral CSA <input checked="" type="checkbox"/> 1.5	Nbr. neutral <input checked="" type="checkbox"/> 1	

2. Product

Live conductors	Multi-core	Composition	1Ph+N
Insulation	Halogen free, 70°C	Conductor metal of phase	Aluminium
Phase CSA	1.5	Nbr. per phase	1
Conductor metal of neutral	Aluminium	Neutral CSA	1.5
Nbr. neutral	1		

Kuva 10. Kaapelin valitseminen manuaalisesti.

Sulakkeiden valinta tapahtuu valitsemalla haluttu sulake ja täyttämällä lähtötie-
dot, joiden perusteella ohjelma valitsee suojan (kuva 11). Suojan valinnassa pi-
tää ensimmäisenä määrittää käytetäänkö johdonsuojakatkaisijaa vai sulaketta.
Johdonsuojakatkaisijat on jaoteltu eri käyttötarkoitusten mukaan käyttökohteen
mukaisesti (Industrial, household circuit breaker). Sulakkeiden määrittely -
kohdassa voidaan muuttaa koko virtapiirin jakelujärjestelmä. Laitteen tila voi olla
auki tai kiinni. Tilan ollessa auki ei ohjelma ota virtapiiriä huomioon laskennas-

sa. Katkaisijat voivat olla ulosvedettäviä, mikä määritellään "withdrawable" -kohdassa. Valikoista määritellään selektiivisyyden, moottorimekanismin ja vika-virtasuojan käyttö. Ib arvo on suunniteltu virran arvo, jonka ohjelma ilmoittaa laskennan yhteydessä.

4.4 Simulointi ohjelmalla

Ohjelmalla voidaan tehdä useita vikasimulointitilanteita valitsemalla alaspäin olevasta nuolikuvakkeesta "Management of operating mode". Auenneessa valikossa voidaan luoda erilaisten tilanteiden nimet ja lyhyesti kommentoida niitä. Erilaisten toimintatilanteiden tarkastelun hyötynä on, että voidaan todeta esimerkiksi suojauksien toimivuus samassa sähköverkossa olevien varasyöttöjen kanssa. Tällöin pääsyötön katkaisija on auki ja varasyötön katkaisija on suljettuna.

Simulointi tapahtuu painamalla "Calculate project" -kuvaketta, jonka jälkeen ohjelmisto aloittaa simuloinnin. Ohjelma aloittaa laskennan pääsyötöstä alaspäin ja keskeytyy, jos ohjelma havaitsee virheen. Virhetilanteita on esimerkiksi liian pienet kaapelit tai vääränlainen suoja. Virheen poistamisen jälkeen ohjelma pystyy laskemaan sähköverkkoa pidemmälle. Ohjelma ilmoittaa komponentti-muutoksista alapalkissa olevassa taulukossa (Solution table), johon ohjelma kokoaa kaikki varoitukset, virheet ja muutetut ratkaisut.

Ohjelmasta voidaan tulostaa raportit onnistuneen simuloinnin jälkeen. Niistä näkyvät muun muassa virtapiirien oikosulkuvirrat, jännitteenalenemat ja pisimmät kaapelien vedot. Samalla ohjelma ottaa kuvakaappauksen virtapiiristä. Raportin voi tulostaa yhteen dokumenttiin, jos malli ei ole liian suuri. Mallin ollessa liian suuri raportti pitää jakaa keskuskohtaisesti pienempiin osiin. Raportin alussa on sähkökeskuksen kaikki lähdöt. Lähtöjen listauksen jälkeen raportissa on virtapiirien tiedot. Tietoja ovat muun muassa oikosulkuvirrat, jännitteenalenema ja komponentit. Jätevedenpuhdistamon tapauksessa sivuja raporteissa on noin 1600.

Simuloinnin jälkeen ohjelma antaa "Curves" kohdassa suojien selektiivisyyskäyrät, jotka voidaan viedä Excel -taulukkoon "export" -toiminnolla. "Details" -kohdassa näkyy samat asiat virtapiireistä, kuin raportit kohdassa. Tietojen pohjalta voidaan tehdä johtopäätöksiä sähköverkon toimivuudesta.

5 Tulokset

Tulokset luvussa tutkitaan mallinnusohjelmasta saatujen tuloksien luotettavuutta. Luotettavuus pyritään todistamaan vertailemalla ohjelman tuloksia taulukkolaskentaohjelmalla tehtyihin laskelmiin. Liitteissä on käytetty jätevedenpuhdistamon keskuskaavioissa esiintyviä nimiä.

5.1 Oikosulkuvirtavertailu

Työssä tarkastellaan ohjelmiston luotettavuutta laskelmien kannalta. Luotettavuutta tarkastellaan vertailemalla ohjelmiston ilmoittamia yksivaiheisia oikosulkuvirran arvoja käsin laskettuihin arvoihin. Verkkoyhtiö ilmoitti yksivaiheiseksi oikosulkuvirraksi 24980 A [9]. Liitteessä 1 on esitetty taulukkolaskentaohjelmalla tehdyt laskelmat. Taulukkoon 2 on kerätty ohjelman ja taulukkolaskentaohjelman tulokset. Tuloksista nähdään, etteivät kaikki arvot ole 10 % sisällä. Mallinnusohjelma laskee todennäköisesti tarkemmin ja ottaa erilaisten komponenttien tiedot paremmin huomioon kuin yksinkertaistetut laskenta kaavat. Kaavoissa käytetään yleistettyä kerrointa mallintamaan komponenteissa tapahtuvia häviöitä.

Taulukko 2. Oikosulkuvirrat laskettuna mallinnusohjelmalla ja taulukkolaskentaohjelmalla

	JVP-PK-0	Pääkeskus	HRK 1	8 3-VAIH. PISTRASIA
Oikosulkuvirta Ecodial Advanced Calculationilla (A)	29480	18100	1910	660
Oikosulkuvirta taulukkolaskentaohjelmalla laskettuna (A)	29480	16500	2140	700
Oikosulkuvirran Ero prosentteina (%)	0	8,8	11	5,7

Koska tulokset eivät ole vaaditun 10 % sisällä, tehtiin lisätutkimusta oikosulkuvirroista. Uusissa laskelmissa luotiin teoreettinen malli (liite 2), jonka ilmoittamat oikosulkuvirrat ovat taulukossa 3. Teoreettisen mallin laskelmat ovat liitteessä 3. Laskelmia vertailtaessa huomataan, että suurin ero on 1.4 %. Erot ovat pienemmät, koska verkko on yksinkertaisempi verrattuna jätevedenpuhdistamon sähköverkkoon. Ohjelman tuloksia voidaan pitää luotettavina.

Taulukko 3. Teoreettisen mallin oikosulkuvirrat ohjelmalla ja taulukkolaskentaohjelmalla.

	Pääkeskus	Nousukeskus	Alakeskus	Kuorma 11
Oikosulkuvirta Ecodial Advanced Calculationilla (A)	2970	2960	2880	360
Oikosulkuvirta taulukkolaskentaohjelmalla laskettuna (A)	2970	2920	2910	356
Oikosulkuvirran Ero prosentteina (%)	0	1,4	1,0	1,1

Suomessa on yleistä käyttää alumiinisia vaihejohtimia ja kuparista suojajohtimia. Ohjelmalla ei ollut mahdollisuutta valita oikeanlaisia kaapeleita, joissa vaihejohtimien ja suojajohtimen poikkipinta-alat ja materiaalit olisivat samanlaiset kuin varsinaisessa asennuksessa. Tämä ongelma vääristää muun muassa oikosulkuvirran laskentaa

5.2 Jännitteenaleneman vertailu

Liitteessä 4 on laskettu jätevedenpuhdistamon erään pisteen jännitteenalenema vertailun vuoksi. Laskentaohjelma antoi tulokseksi 0,731 %. Taulukkolaskentaohjelman tuloksena on 0,740 %. Ero saatujen tuloksien välillä on pieni, joten voidaan olettaa mallinnusohjelman laskevan jännitteenaleneman oikein. Taulukkolaskentaohjelman laskelmissa on käytetty kaavoja 4 ja 5.

Minkään lähdön jännitteenalenema ei ylitä 10 %, joten muutokset eivät ole velvoittavia. Tästä johtuen jännitteenalenemasta johtuvat lähtöjen muutosesitykset

ovat vain suosituksia. Moottoreiden ja valaisimien rikkoutumisella voi kuitenkin olla yhteys jännitteenalenemaan, joten listattuja tietoja kannattaa verrata huoltokortteihin. Huoltokortteihin on kirjattu kaikki laitteelle tehdyt huollot. Korteissa on muun muassa laitteen nimi, valmistaja, tehot, tehokerroin ja virta.

5.3 Selektiivisyyden tulokset

Simuloinnin perusteella selektiivisyys ei toteudu useassa virtapiirissä. Kaikki epäselektiiviset virtapiirit ovat liitteessä 5. Selektiivisyys ei toteudu virtapiireissä, koska sulakkeet on pääsääntöisesti asennettu liian suurilla väleillä. Etusulakkeiden asentamisella ja virtapiirien jakamisella pienempiin osiin voitaisiin lisätä suojauksen selektiivisyyttä.

5.4 Mallintamisen tulokset

Lopputuloksista voidaan päätellä sähköturvallisuuden olevan melko hyvä Joensuuun Veden jätevedenpuhdistamolla. Mallinnusohjelma käyttää komponentteina Schneider Electricin tuotteita. Tulokset eivät vastaa täysin todellista ympäristöä, koska jätevedenpuhdistamolla on käytössä monien valmistajien komponentteja. Muutettavista lähdöistä on tehty taulukkolaskentaohjelmalla lista liitteeseen 6. Liitteeseen 7 on koottu jännitteenalenemasta johtuvat muutokset.

Liitteessä 6 lähtöjen muutostarpeen yleisin syy on asennustavasta johtuva virhe. Kaapelihyllyt ovat täynnä erityisesti suurempien sähkökeskusten luona, jotka johtunee laajennuksien yhteydessä tulleista uusista kaapeleista. Korjauskerroimen tarkka määrittäminen yksittäiselle kaapelille on mahdotonta. Kaapelien asennustavan valinnassa on käytetty kaapelihyllyllä keskimääräistä rinnakkaisien kaapelien määrää eli osalla kaapeleista olisi pienempi korjauskerroin. Virhe tapahtuu kuitenkin turvallisempaan suuntaan.

Laskentaohjelmasta saatuja tuloksia olisi hyvä verrata mitattuihin arvoihin. Riittäisi, että mitattaisiin yhden piirin arvot. Arvoja voitaisiin verrata sähköverkon mallin tuloksiin ja todeta ovatko ohjelman arvot lähelläkään mitattuja tuloksia.

6 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli mallintaa Joensuun Veden jätevedenpuhdistamon sähköverkko. Samalla tarkasteltiin Ecodial Advanced Calculation -mallinnusohjelman soveltuvuutta sähköverkon mallinnukseen ja mahdolliseen käyttöön huoltotöissä.

Yksinkertaisen sähköverkon mallintamiseen ohjelma soveltuu hyvin. Ohjelmasta puuttuu mahdollisuus lisätä kommentteja malliin, mikä helpottaisi vanhan verkon mallinnuksessa. Ohjelmaan ei jää minkäänlaista merkintää, jos tieto on virheellinen syöttövaiheessa. Kaikki syöttövaiheessa olevat virheelliset tiedot pitää kerätä erilliseen taulukkoon.

Mallinnusohjelma ei kuitenkaan sovellu kovinkaan hyvin huoltotyökäyttöön, koska ohjelmassa ei ole hakutoimintoa, jolla voitaisiin paikantaa yksittäinen lähtö. Ohjelma on raskas ja epäluotettava, kun lähtöjen määrä ylittää 400. Epäluotettavuus ilmeni ohjelmiston satunnaisena kaatuiluna tietoja tallennettaessa. Ohjelman raskautta osoittaa, että jätevedenpuhdistamon mallin avaaminen kesti noin kolme minuuttia ja simulointi vei aikaa noin viisi minuuttia. Mallinnetussa verkossa oli noin 800 lähtöä. Yhteensä laitoksessa tällä hetkellä on noin 900 lähtöä. Ohjelman kapasiteettiongelmista johtuen malliin ei lisätty kaikkia lähtöjä. Sähköverkon mallin ollessa yksinkertainen ohjelma kuitenkin toimi hyvin.

Jätevedenpuhdistamolle suunnitellaan hankittavaksi suurempi muuntaja, jolloin muuntajan arvot tulee päivittää. Hankintaa ei ole vielä tehty, joten muuntajan arvot eivät olleet saatavissa jakeluverkkoyhtiöltä. Kaapelien poikkipinta-alojen riittävyttä kannattaa tarkastella uuden muuntajan käyttöönoton yhteydessä, koska oikosulkuvirta tulee kasvamaan.

Kytkimien tarkkoja tietoja ei ollut saatavissa opinnäytetyön tekohetkellä. Tietojen täydentämisellä malliin voitaisiin todentaa niiden soveltuvuus sähköverkkoon. Kolmansien yliaaltojen vaikutus tulisi selvittää sähköverkossa.

Lähteet

1. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen turvallisuudesta (1193/1999). 1996. [Viitattu 16.2.2015.] Saatavissa: <http://plus.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/19991193?toc=1>
2. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. D1-2012 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Helsinki. 2013. 401 s. ISBN 978-952-231-079-8.
3. Suomen standardisointiliitto SFS ry. SFS-Käsikirja 600-1. Sähköasennukset. Osa 1: SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset. Helsinki. 2012. 627 s. ISBN 978-952-242-201-9
4. Sähkötieto ry. ST 53.14 Ohjeet perinteisten sulakkeiden valinnasta ja käytöstä, alle 1000 V:n sähköjärjestelmät. Espoo. 15.4.2005
5. Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa. 2011. Sähköverkot II. Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki. 547 s. ISBN 978-951-672-363-4
6. Sähkötieto ry. ST 53.45 Sulakkeeton suojaus. Espoo. 15.6.2004
7. Sähkötieto ry. ST 53.13 Kiinteistön sähköverkon suojauksen selektiivisyys. Espoo. 15.2.2008
8. Sähkötieto ry. ST 52.51.02 Sähkönlaatu. Jännitteenaleneman minimoiminen. Espoo. 15.5.2006
&eissn=1532-2459&volume=22&issue=11&spage=1527. ISSN 1532-2459.
9. Kullstrom, R. 2015. Jätevedenpuhdistamon oikosulkuvirta. Matias.Jarvinen@edu.karelia.fi. 17.2.2015.

Oikosulkuvirtalaskelma taulukkolaskentaohjelmalla

Oikosulkuvirta Ik1 kohdassa JVP-PK-0 24980 A

Syöttävän verkon impedanssi Zk1:

$$(0,95*400)/(24980*NELIÖJUURI(3)) = 0,0088 \Omega$$

Pääkeskuksen, kaapeli 4 AXCMK 4x240, pituus 50 m:

Pääkeskuksen silmukkaimpedanssi Zk2:

$$Zk1+2*(0,18*0,05/4) = 0,001328 \Omega$$

Pääkeskuksen oikosulkuvirta Ik2:

$$(0,95*400)/(Zk2*NELIÖJUURI(3)) = 16517 A$$

Huoltorakennus HRK 1, kaapeli AMCMK 4x70, pituus 80 m:

HRK 1 silmukkaimpedanssi Zk3:

$$Zk2+2*(0,557*0,08) = 0,10240 \Omega$$

HRK 1 oikosulkuvirta Ik3:

$$(0,95*400)/(Zk3*NELIÖJUURI(3)) = 2142 A$$

Huoltorakennuksessa oleva 8 3-VAIH. PISTRASIA, Kaapeli MMJ 5x4 mm², pituus 19 m:

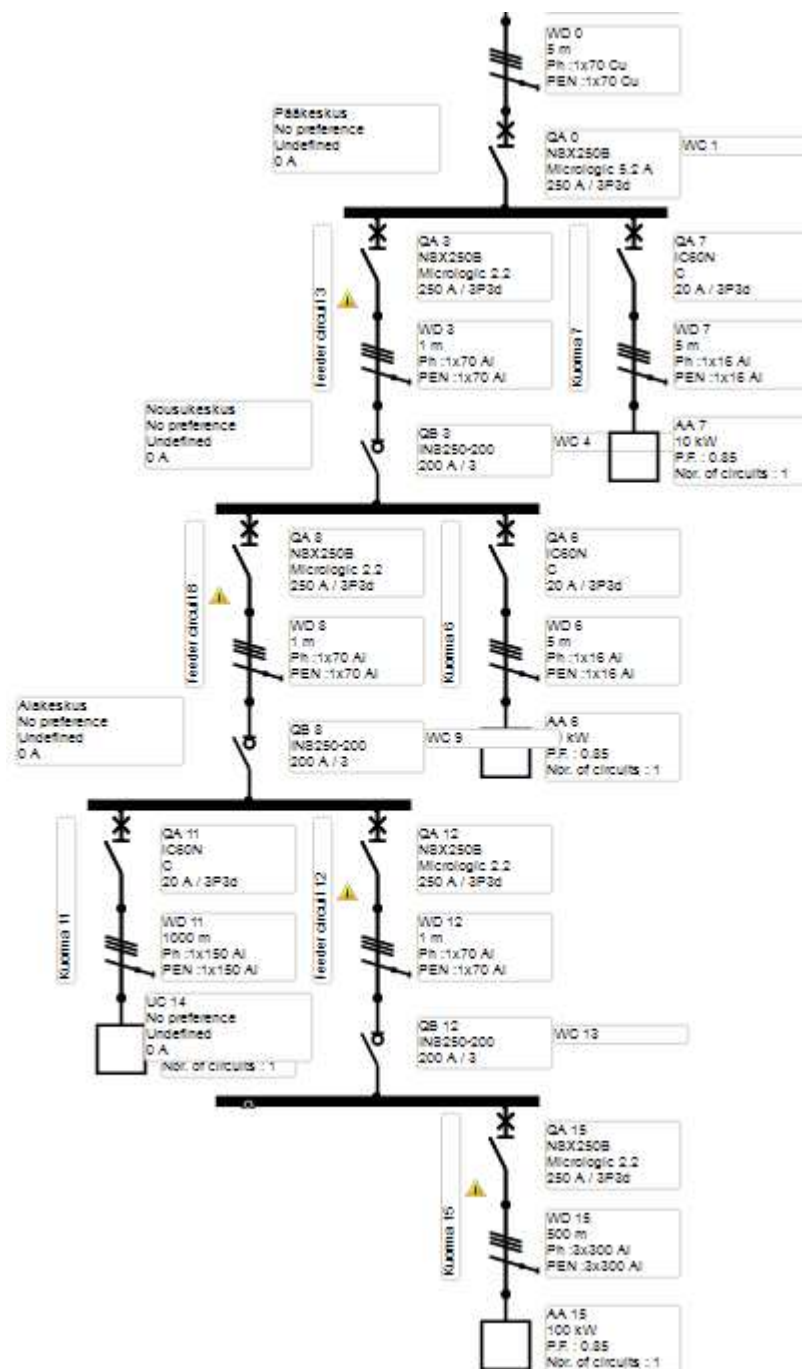
Huoltorakennuksessa oleva 8 3-VAIH. PISTRASIA silmukkaimpedanssi Zk4:

$$Zk3+2*(19*0,00548) = 0,31064 \Omega$$

Huoltorakennuksessa oleva 8 3-VAIH. PISTRASIA oikosulkuvirta Ik4:

$$(0,95*400)/(Zk4*NELIÖJUURI(3)) = 706 A$$

Teorettinen sähköverkon malli



Oikosulkuvirtalaskelma taulukkolaskentaohjelmalla teoreettisessa mallissa

Oikosulkuvirta Ik1 kohdassa Pääkeskus 2970 A

Syöttävän verkon impedanssi Zk1:

$$\frac{(0,95*400)}{(2970*NELIÖJUURI(3))} = 0,07387 \Omega$$

Nousukeskus, kaapeli Alumiini 4x70, pituus 1 m:

Nousukeskuksen silmukkaimpedanssi Zk2:

$$Zk1+2*(0,557*0,001) = 0,074984 \Omega$$

Nousukeskuksen oikosulkuvirta Ik2:

$$\frac{(0,95*400)}{(Zk2*NELIÖJUURI(3))} = 2925$$

A

Alakeskuksen, kaapeli alumiini 4x70, pituus 1 m:

Alakeskuksen silmukkaimpedanssi Zk3:

$$Zk2+2*(0,557*0,08) = 0,076098 \Omega$$

Alakeskuksen oikosulkuvirta Ik3:

$$\frac{(0,95*400)}{(Zk3*NELIÖJUURI(3))} = 2883$$

A

Kuorma 11, kaapeli alumiini 4x150, pituus 1000 m:

Kuorma 11 silmukkaimpedanssi Zk4:

$$Zk3+2*(0,27*1) = 0,616098 \Omega$$

Kuorma 11 oikosulkuvirta Ik4:

$$\frac{(0,95*400)}{(Zk4*NELIÖJUURI(3))} = 356 \text{ A}$$

Jännitteenalenemalaskelma taulukkolaskelmaohjelmalla

Jännitteenalenema huoltorakennuksessa oleva 8 3-VAIH. PISTRASIA, Kaapeli MMJ 5x4 mm², pituus 19 m:

$$u = b(\rho_1 * (L/S) * \cos\varphi + \lambda L \sin\varphi)$$

$$u = 16 * \text{NELIÖJUURI}(3) * (22,5 * 0,019 / 4 * 1)$$

$$u = 2,961806881$$

$$\Delta u = 100 * u / U_0$$

$$\Delta u = 100 * 2,9617806881 / 400$$

$$\Delta u = 0,740$$

Lista ohjelmiston ilmoittamista epäselektiivisyyksistä**Selektiivisyys ei toteudu:**

Keskus	Lähtö
JVP-PK	JVP-PK-0 8.1
JVP-PK	JVP-PK-0 8.10
JVP-PK	JVP-PK-0 8.11
MRK 3	1 KIERTOILMAKOJE IV03 KIK01
MRK 3	2 KIERTOILMAKOJE IV03 KIK02
MRK 3	3 KIERTOILMAKOJE IV03 KIK03
MRK 3	4 TULOILMAPUHALLIN IV03 TK01
KRK 1	7 AKSIAALIPUHALLIN IV02 PK02
KRK 1	8 HUIPPUIMURI NOPEA IV02 PK03
KRK 1	9 HUIPPUIMURI HIDAS IV02 PK03
KRK 1	10 PUMPPU LJ02 PU01
KRK 1	11 PUMPPU LJ02 PU02
KRK 1	13 PUMPPU IJ02 PU04
KRK 1	17 PUMPPU LJ02 PU08
KRK 1	2 VOIMAPISTORASIA 16A
KRK 1	3 PISTORASIA 16A
KRK 1	4 VALAISTUS
KRK 1	5 KAASUPUTKEN LÄMMITYSKAAPELI
KRK 1	6 RELEKAAPIN LÄMMITYS
KRK 1	7 POLTINAUTOMATIikka
KARK 1	1 TEKNISEN VEDEN PUMPPU M408
KARK 1	2 TEKNISEN VEDEN PUMPPU M409
KARK 1	5 KARTIO TÄRYTIN M237
KARK 1	6 PÖLYSUOD. TÄRYTIN M238
JSRK 1	6 KIERTOILMAKOJE IV06 KIK01
JSRK 1	7 KIERTOILMAKOJE IV06 KIK02
JSRK 1	8 PUMPPU IV06 PU02
LVI-RK 1	1 KIERTOILMAKOJE IV04 KIK01
LVI-RK 1	2 KIERTOILMAKOJE IV04 KIK02
LVI-RK 1	3 KIERTOILMAKOJE IV04 KIK03
LVI-RK 1	4 KIERTOILMAKOJE IV04 KIK04
LVI-RK 1	5 KIERTOILMAKOJE IV04 KIK05
LVI-RK 1	6 KIERTOILMAKOJE IV04 KIK06
LVI-RK 1	6.1 POISTOILMAPUHALLIN IV04 PK11
LVI-RK 1	6.1 POISTOILMAPUHALLIN IV04 PK11
LVI-RK 1	8 POISTOILMAPUHALLIN IV04 PK01
LVI-RK 1	9 PUMPPU IV04 PU05
LVI-RK 1	10 TULOILMAPUHALLIN IV04 TK02
LVI-RK 1	11 TULOILMAPUHALLIN IV04 TK03
LVI-RK 1	12 TULOILMAPUHALLIN IV04 TK04
LVI-RK 1	15 POISTOPUHALLIN IV04 PK06
LVI-RK 1	16 POISTOPUHALLIN IV04 PK07
LVI-RK 1	17 POISTOPUHALLIN IV04 PK08

Lista ohjelmiston ilmoittamista epäselektiivisyyksistä

LVI-RK 1	18 PUMPPU IV04 PU01
LVI-RK 1	19 PUMPPU IV04 PU02
LVI-RK 1	20 PUMPPU IV04 PU03
VARK 1	1 VÄLPÄN 1 MOOTTORI M101.1
VARK 1	2 VÄLPÄN 1 HARJAN MOOTTORI M101.2
VARK 1	4 VÄLPÄN 2 MOOTTORI M102.1
VARK 1	5 VÄLPÄN 2 HARJAN MOOTTORI M102.2
VARK 1	7 VÄLPERUUVI
VARK 1	11 OHJELMOINTIPISTORASIA VLOK1 & 2
VARK 1	23 VÄLPELAVAN SIIRTOM. M111
VARK 1	24 VIRTAAAMAN JAKOLEVY M112
VARK 1	27 FERROSULF. SIIRTOP M116
VARK 1	28.2 FERROSULF. ANNOSTELUP. M117
VARK 1	28.3 FERROSULF. ANNOSTELUP. M118
VARK 1	18 HIEKANPESURI M107
VARK 1	21 VÄLPELAVANSIIRTOM. M110
VARK 1	34 VÄLISELK. LAAHA M146
VARK 1	35 VÄLISELK. LAAHA M147
VARK 1	36 VÄLISELK. LAAHA M148
VARK 1	37 NÄYTTEENOTTOP. M501
VARK 1	38 NÄYTTEENOTTOP. M502
VARK 1	40 NÄYTTEENOTTOP. M503
VARK 1	41 NÄYTTEENOTTOP. M504
VARK 1	42 NÄYTTEENOTTOP. M505
VARK 1	43 NÄYTTEENOTTOP. M506
VARK 1	44 NÄYTTEENOTTOP. M507
VARK 2	1 VÄLPÄN 3 MOOTTORI
VARK 2	2 VÄLPÄN 3 HARJAN MOOTTORI
VARK 2	7 KULJETINRUUVIN MOOTTORI
VARK 2	11 OHJELMOINTIPISTORASIA VLOK3
VARK 2	10.4 FERRO. ANNOS. P M203
VARK 2	12 HIEKANEROTUSP M204
VARK 2	13 HIEKANEROTUSP M205
VARK 2	14 HIEKANEROTUSP M206
VARK 2	15 HIEKANEROTUSP M207
VARK 2	21 MEKAAN. LIET. TIIV. M301
VARK 2	22 MEKAAN. LIET. TIIV. M302
RK 3	29 KF1
RK 3	31 PF1 NOPEA
RK 3	35 KF2
RK 3	36 PF3
RK 3	37 PF4
RK 3	38 TF2
RK 3	39 SF1
RK 3	40 OF5

Lista ohjelmiston ilmoittamista muutoksista lähtöihin

Muutettavat lähdöt

Lähdön sijainti	Nykyinen	Muutettava
HRK1 SYÖTTÖ		70 mm ²
8 3-VAIH. PISTRASIA	2.5 mm ²	4 mm ²
11 PESUKONE	2.5 mm ²	4 mm ²
12 KUIV.RUMP	2.5 mm ²	4 mm ²
14 PISTORASIA	1.5 mm ²	4 mm ²
20 PISTRASIA H 103	1.5 mm ²	2.5 mm ²

MRK 1

1 KIERRÄTYSLIETEPUMPPU M314	10 mm ²	35+16 mm ²
2 KIERRÄTYSLIETEPUMPPU M315	10 mm ²	35+16 mm ²
3 KIERRÄTYSLIETEPUMPPU M316	10 mm ²	35+16 mm ²
4 POTKURISEKOITIN M317	2.5 mm ²	4 mm ²
5 POTKURISEKOITIN M318	2.5 mm ²	2.5+4mm ²
6 KAASUKOMPRESSORI	10 mm ²	35+16 mm ²
7 KAASUKOMPRESSORI	10 mm ²	35+16 mm ²

MRK 2

2 SEKALIETTEEN VÄLIVARASTON PUMPPU M311	6 mm ²	16 mm ²
---	-------------------	--------------------

MRK 3

11 PISTORASIA 16A H302,H303,H331,ULKONA	2.5 mm ²	4 mm ²
---	---------------------	-------------------

KRK 1

4 ÖLJYPOLTIN ÖPÖ1	2.5 mm ²	4 mm ²
14 PUMPPU LJ02 PU05	2.5 mm ²	25A/6 mm ²
27 INSTRUMENTOINTIKOTELO KK-102		Suojamaan lisäys
29 KOSKETINRYHMÄ 16A KAAS.POLTINH.ULK.	2.5 mm ²	4 mm ²

ESRK 1

3 ESISELKEYTYKSEN LIETEPUMPPU M128	1.5 mm ²	6 mm ²
5 ESISELKEYTYKSEN LIETEPUMPPU M211	1.5 mm ²	6 mm ²
9 VALAISTUS B1	2.5 mm ²	4 mm ²
12 VOIMAPISTORASIA 32A ESRK1	2.5 mm ²	6 mm ²
13 VOIMAPISTORASIA 32A ESRK1	2.5 mm ²	6 mm ²
14 VOIMAPISTORASIA 32A	2.5 mm ²	6 mm ²
19 KOSKETINRYHMÄ 16A	2.5 mm ²	4 mm ²

Lista ohjelmiston ilmoittamista muutoksista lähtöihin

KARK 1

1	TEKNISEN VEDEN PUMPPU M408	10 mm ²	35 mm ²
2	TEKNISEN VEDEN PUMPPU M409	10 mm ²	35 mm ²
9	PIKAHÄMMENNIN M235	2.5 mm ²	6 mm ²
14	NÄYTTEENOTTOPUMPPU M509	2.5 mm ²	4 mm ²
19	VOIMAPISTORASIA 32A	6 mm ²	10 mm ²
24	PISTORASIA 16A	2.5 mm ²	4 mm ²
28.1	LÄMMITYS	1.5 mm ²	2.5 mm ²
28.2	LÄMMITYS	1.5 mm ²	2.5 mm ²
29	PISTORASIA/VALAISTUS	1.5 mm ²	4 mm ²

JSRK 1

1	JÄLKISELKEYTYSLAAHA M239	2.5 mm ²	4 mm ²
2	HÄMMENNIN M240	1.5 mm ²	2.5 mm ²
3	HÄMMENNIN 241	1.5 mm ²	2.5 mm ²
4	HÄMMENNIN M242	1.5 mm ²	2.5 mm ²
5	TULOILMAKOJE IV06 TK01	6 mm ²	10 mm ²
10	VALAISTUS ALLASTILA	2.5 mm ²	4 mm ²
11	VALAISTUS ALLASTILA	2.5 mm ²	4 mm ²
12	VOIMAPISTORASIA 32A	6 mm ²	10 mm ²
13	VOIMAPISTORASIA 32A	6 mm ²	10 mm ²
17	PISTORASIARYHMÄ 16A	2.5 mm ²	4 mm ²

LVI-RK 1

23	SIIRTOILMAPUHALLIN IV02 SK01	2.5 mm ²	4 mm ²
24	SIIRTOILMAPUHALLIN SK02	2.5 mm ²	4 mm ²
25	PUMPPU IV04 PU04	2.5 mm ²	4 mm ²
27	POISTOPUHALLIN IV04 PP3	1.5 mm ²	4 mm ²
29	POISTOPUHALLIN IV04 PP6	1.5 mm ²	4 mm ²

ILMST KOJEH 21

3	TULOILMAPUHALLIN TK01-TF01	2.5 mm ²	4 mm ²
---	----------------------------	---------------------	-------------------

LK 1

LK 1	Syöttö	180 mm ²	240 mm ²
------	--------	---------------------	---------------------

LK 2

1	TAAJUUSMUUTTAJA U702		Suojamaan lisäys
---	----------------------	--	------------------

Lista ohjelmiston ilmoittamista muutoksista lähtöihin

VARK 1

2 HIEKANEROTUSKOMPR. M123	25 mm ²	95 mm ²
3.2 ESI-ILMASTUSKOMPR. M124	35+16 mm ²	95+50 mm ²
4.1 ESI-ILMASTIN M125	2.5 mm ²	6 mm ²
4.3 ESI-ILMASTIN M126	2.5 mm ²	6 mm ²
5.2 ILMASTIN M130	16 mm ²	25 mm ²
5.3 ILMASTIN M131	16 mm ²	35 mm ²
5.4 ILMASTIN M132	16 mm ²	35 mm ²
5.5 ILMASTIN M133	16 mm ²	35 mm ²
6.2 ILMASTUSKOMPR. M134	70+25 mm ²	240+120 mm ²
6.3 ILMASTUSKOMPR. M135	70+25 mm ²	240+120 mm ²
7.2 PALAUTUSLIETEPUMPPU M138	6 mm ²	35A/10 mm ²
7.3 PALAUTUSLIETEPUMPPU M139	6 mm ²	35A/10 mm ²
7.5 PALAUTUSLIETEPUMPPU M140	2.5 mm ²	6 mm ²
7.6 PALAUTUSLIETEPUMPPU M141	2.5 mm ²	6 mm ²
7.7 PALAUTUSLIETEPUMPPU M142	2.5 mm ²	6 mm ²
7.8 PALAUTUSLIETEPUMPPU M143	2.5 mm ²	6 mm ²
7.9 PALAUTUSLIETEPUMPPU M144	2.5 mm ²	6 mm ²

VARK 2

2.2 ILMASTIN M212	16+2.5 mm ²	35+16 mm ²
2.3 ILMASTIN M213	16+2.5 mm ²	35+16 mm ²
2.4 ILMASTIN M214	16+2.5 mm ²	35+16 mm ²
2.5 ILMASTIN M215	16+2.5 mm ²	35+16 mm ²
2.8 POLYM.PUMPPU M218	2.5 mm ²	6 mm ²
3.2 ILMASTUSKOMPR M219	70+25 mm ²	150+95 mm ²
3.3 ILMASTUSKOMPR M220	70+25 mm ²	150+95 mm ²
4.2 YLIJÄÄLI.PUMPPU M136	6+2.5 mm ²	6 mm ²
5.1 BIO.LIE.LINKO M309	16 mm ²	35 mm ²
6 TEKN ILMAN KOMP M410	16 mm ²	50 mm ²
7 INST. ILMPAKOMP M411	6 mm ²	10 mm ²
8 MÄD.LIET.VIRT.KEHI. M313	6 mm ²	10 mm ²
12 HIEKANEROTUSP M204	1.5 mm ²	4 mm ²
13 HIEKANEROTUSP M205	1.5 mm ²	4 mm ²
14 HIEKANEROTUSP M206	1.5 mm ²	4 mm ²
15 HIEKANEROTUSP M207	1.5 mm ²	4 mm ²
16.2 PAL.LIET.P M222	2.5 mm ²	6 mm ²
16.3 PAL.LIET.P M223	2.5 mm ²	6 mm ²
16.4 PAL.LIET.P M224	2.5 mm ²	6 mm ²
16.5 PAL.LIET.P M225	2.5 mm ²	6 mm ²

Lista ohjelmiston ilmoittamista muutoksista lähtöihin

16.6 PAL.LIET.P M226	2.5 mm ²	6 mm ²
16.7 PAL.LIET.P M227	2.5 mm ²	6 mm ²
16.7 PAL.LIET.P M228	2.5 mm ²	6 mm ²
16.8 PAL.LIET.P M229	2.5 mm ²	6 mm ²
16.9 PAL.LIET.P M230	2.5 mm ²	6 mm ²
26 KEM.LIET.P M306	1.5 mm ²	4 mm ²
29 NOUS.REJE.VESI.P M307	2.5 mm ²	4 mm ²
33 VARAKOMPRES M140.1	2.5 mm ²	6 mm ²
34 HUOLT.RA.SANIT.P M413	2.5 mm ²	4 mm ²
VAL-RK 2		
1 VALAISTUS VÄLPPÄÄMÖ HOITOTASO	2.5 mm ²	4 mm ²
2 VALAISTUS HIEKANEROTUS JA ESI-ILMASTUS	2.5 mm ²	4 mm ²
3 VALAISTUS ILMASTUS RIVI 1	1.5 mm ²	2.5 mm ²
4 VALAISTUS ILMASTUS RIVI 2	2.5 mm ²	4 mm ²
20 MAAD.PIST.RYHMÄ	2.5 mm ²	4 mm ²
21 MAAD.PIST.RYHMÄ	2.5 mm ²	4 mm ²
22 MAAD.PIST.RYHMÄ	2.5 mm ²	4 mm ²
23 MAAD.PIST.RYHMÄ	2.5 mm ²	4 mm ²
24 MAAD.PIST.RYHMÄ	2.5 mm ²	4 mm ²
LKRK 1		
LKRK 1 SYÖTTÖ	50+25 mm ²	240 mm ²
1 HUUHTELUVESIPUMPPU	6 mm ²	10 mm ²
4 LIETERUUVI M712	2.5 mm ²	6 mm ²
6 VOIMAPISTORASIA KORJAAMO	2.5 mm ²	6 mm ²
RK 3		
7 VARAAJA	2.5 mm ²	4 mm ²
8 VALAISTUS LIETT.KUIV	2.5 mm ²	4 mm ²
11 PISTORASIA SÄHKÖTILA	1.5 mm ²	4 mm ²
12 PISTORASIA VALVOMO	1.5 mm ²	2.5 mm ²
13 PISTORASIA VALVOMO	1.5 mm ²	2.5 mm ²
14 PISTORASIA VALVOMO	1.5 mm ²	2.5 mm ²
15 LÄMMITYS PORT.	1.5 mm ²	2.5 mm ²
24 LIETERUUVIN LÄMMITYS	2.5 mm ²	4 mm ²
25 LIETERUUVIN LÄMMITYS	2.5 mm ²	4 mm ²
26 LIETERUUVIN LÄMMITYS	2.5 mm ²	4 mm ²
27 LIETERUUVIN LÄMMITYS	2.5 mm ²	4 mm ²
32 OF1	2.5 mm ²	4 mm ²

Lista ohjelmiston ilmoittamista muutoksista lähtöihin

33 OF2

2.5 mm²4 mm²

IVRK 2

IVRK2 SYÖTTÖ

250A/240 mm²

Lista ohjelmiston ilmoittamista jännitteenalaniemistä

Jännitteenalenumero ei suositusten sisällä

Keskus	Lähtö	Nykyinen	Muutettava
HRK 1	15.3 VALAISTUS H120	1.5 mm ²	2.5 mm ²
HRK 1	15.2 VALAISTUS H120	1.5 mm ²	2.5 mm ²
HRK 1	15.1 VALAISTUS H120	1.5 mm ²	2.5 mm ²
HRK 1	21 VALAISTUS H 123	1.5 mm ²	2.5 mm ²
HRK 1	28 PISTR H 123	2.5 mm ²	4 mm ²
MRK 2	1 SEKALIIETTEEN VIRTAAMAN M310 KEHITIN	2.5 mm ²	6 mm ²
MRK 2	5 SEKALIIETTEEN VÄLIVARASTO PUMPPU 312	4 mm ²	6 mm ²
MRK 3	15 VALAISTUS H331	1.5 mm ²	2.5 mm ²
MRK 3	12 PISTORASIA 16A H301	2.5 mm ²	4 mm ²
KRK 1	4 VALAISTUS	1.5 mm ²	2.5 mm ²
KRK 1	25 KUIVATUSPUMPPU HUONE M202	2.5 mm ²	4 mm ²
KRK 1	18 YLIJÄÄMÄKAASUPOLTTIMET	1.5 mm ²	6+10 mm ²
ESRK 1	23 MAAD. PISTORASIARYHMÄ	2.5 mm ²	4 mm ²
ESRK 1	24 MAAD. PISTORASIARYHMÄ	2.5 mm ²	6 mm ²
JSRK 1	16 PISTORASIARYHMÄ 16A	4 mm ²	6 mm ²
LK 1	LK 2 SYÖTTÖ	70 mm ²	95 mm ²
VARK 1	1 FERROSULF. ALTAAN SEK. M115	4 mm ²	10 mm ²
VARK 2	1.2 ESI-ILMASTIN M208	2.5 mm ²	4 mm ²
VARK 2	1.3 ESI-ILMASTIN M209	2.5 mm ²	4 mm ²
VARK 2	2.7 ILMASTIN M217	2.5 mm ²	4 mm ²
VARK 2	25 KEM.LIET.P M305	1.5 mm ²	2.5 mm ²
VARK 2	45 32A VOIMAPISTORASIA	6 mm ²	10 mm ²
KOMPOST. ALUE	KOMPOST. ALUE SYÖTTÖ	4 mm ²	10 mm ²
RK 3	2 PISTOR.KAMERAT.POLYM.VALM	1.5 mm ²	4 mm ²