

Martti Kivilä

# Sähköverkon laskentaohjelmiston oppimisympäristön kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

15.12.2015

Tekijä Otsikko	Martti Kivilä Sähköverkon laskentaohjelmiston oppimisympäristön kehittäminen
Sivumäärä Aika	26 sivua + 1 liite 15.12.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja	lehtori Tuomo Heikkinen
<p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tutkia sähköverkkolaskentaa sähkötekniikan opetuksen oppimisympäristössä ja selvittää Neplan-sähköverkkosuunnitteluohjelman hyödyntämismahdollisuuksia oppimisympäristössä.</p> <p>Insinööriyö kertoo myös, mitä sähköverkon suunnitteluun kuuluu ja millaisia laskennallisia ominaisuuksia tarvitsee tietää verkon suunnittelussa. Lisäksi kerrotaan Neplan-ohjelman laskennallisista ominaisuuksista ja sen käyttötarkoituksista.</p>	
Avainsanat	sähköverkko, Neplan, suunnitteluohjelma, oppimisympäristö

Author Title	Martti Kivilä Development of Network Computation Program Learning Environment
Number of Pages Date	26 pages + 1 appendix 15 December 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor	Tuomo Heikkinen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to examine computation of network and to clarify the uses of Neplan network computation program.</p> <p>This thesis also explains what is included in powergrid planning and what kind of computational requirements are needed to know in powergrid planning. Furthermore this thesis tells about Neplan and its uses.</p>	
Keywords	powergrid, Neplan, planning program, learning environment

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sähköverkon laskennalliset ominaisuudet	1
2.1	Tehonjaon teoria	1
2.2	Oikosulun teoria	4
2.3	Oikosulun vikatyypit	4
2.3.1	Kolmivaiheinen oikosulku	5
2.3.2	Kaksivaiheinen oikosulku	6
2.3.3	Kaksivaiheinen oikosulku maasululla	7
2.3.4	Maasulku ja yksivaiheinen oikosulku	8
2.4	Jännitteenalenema	10
3	Sähköverkon suunnittelu	11
4	Neplan-ohjelma	13
4.1	Laskentamoduulit	14
4.1.1	Tehonjaonlaskentamoduuli	15
4.1.2	Oikosulkulaskentamoduuli	16
4.2	Ohjelman käyttö	18
4.3	Neplan-ohjelman laskentaesimerkki	21
5	Yhteenveto	24
	Lähteet	26

### Liitteet

Liite 1. Neplan-ohjelman käytön tarkentavat kuvat.

## Lyhenteet

SFS	Suomen standardisoimisliitto.
ANSI	American National Standards Institute, Yhdysvaltojen kansallinen standardi-instituutti.
IEC	International Electrotechnical Commission, kansainvälinen sähkötekniikan komissio, joka tekee ja julkaisee kansainvälisiä standardeja sähkötekniikkaan liittyen.

## 1 Johdanto

Sähköverkkojen suunnitteluun on käytössä monia Windows-pohjaisia ohjelmia, mutta niiden käytön oppiminen itsenäisesti ilman opetusta voi olla vaikeaa. Myös englantia taitamattomille englanninkieliset ohjelmat voivat olla hankalia käyttää.

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia, miten Neplan-ohjelman ominaisuuksia ja toimintoja voidaan hyödyntää opetuskäytössä. Työssä havaittiin, että ohjelman käyttö edellyttää hyviä sähkötekniisiä perustietoja.

Tämä työ kertoo aluksi teoriatasolla yleisimmistä sähköverkon laskennallisista ominaisuuksista ja yleisimmistä sähköverkoissa tapahtuvista vioista, jotka tulee ottaa huomioon sähköverkkoa suunniteltaessa. Tämän jälkeen työ keskittyy kertomaan sähköverkkosuunnitteluun liittyvistä perusasioista sekä suunnitteluun liittyvistä erilaisista kehitys-suunnitelmista. Lopuksi tämä työ kertoo Neplan-ohjelmasta, sen sisällöstä ja käytöstä.

## 2 Sähköverkon laskennalliset ominaisuudet

Sähköverkkoja suunniteltaessa laskemisen merkitys on lisääntynyt ja turvallisuusmääräykset vaativat nykyisin tarkkaa laskentaa. Sekä sähköverkolle että sen komponenteille on asetettu vaatimuksia, jotta verkko täyttäisi turvallisuusmääräykset sekä sähkön laadulliset vaatimukset. Esimerkiksi sähköverkoille asetettuja vaatimuksia löytyy SFS-standardista SFS 6001–6. [1, s. 46.]

### 2.1 Tehonjaon teoria

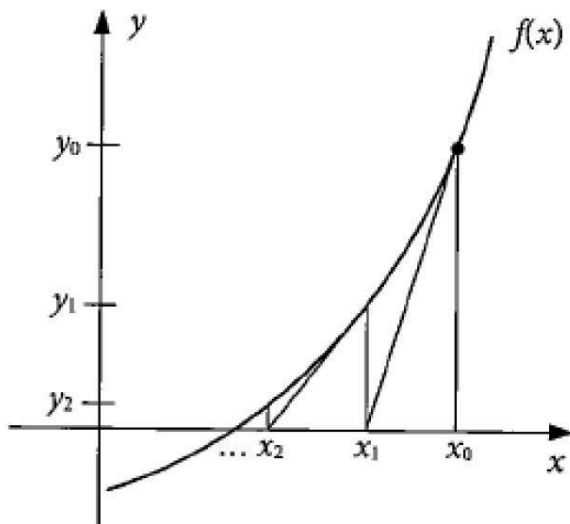
Teho on hetkellinen suure, joka vaihtelee säännöllisesti ja satunnaisesti. Yleisesti varsinaisia tehoja ei ole tilastoitu kattavasti, ja kuormitusennusteissa onkin käytetty vuosienenergiaa. Nykyisten energiamittareiden avulla kulutusta on kuitenkin helpompi seurata ja tilastoida. Sähköverkkolaskennassa hetkellisiä tehoja tärkeämpi suure on maksimiteho, jonka avulla määritetään komponenttien mitoitus.

Vuosienergia on mahdollista muuttaa tehoksi erilaisia menetelmiä hyödyntämällä. Näille menetelmille on ominaista tilastomatemaaattinen perusta sekä mittauksin saadut tulokset kuormituksista. Mikäli tarkkaa kuormitustietoa ei ole saatavilla, voidaan huipputehojen arviointiin käyttää Velanderin kaavaa 1, jonka avulla tulokset saadaan likimain oikein. [2, s. 52–54.]

$$P_{max} = k_1 \cdot W + k_2 \cdot \sqrt{W} \quad (1)$$

jossa  $P_{max}$  on huipputeho kilowatteina,  $k_1$  ja  $k_2$  ovat Velanderin kertoimet, jotka on ennalta määritelty ja  $W$  on vuosienergia megawattitunteina.

Vaikka Velanderin kaava on mallinnettu Neplan-ohjelmassa yksinkertaisen tehon simulointiin vuositasona, on nykyään kuitenkin yleisempää käyttää Velanderin kaavan sijaan tarkempia tuloksia antavia kuormitusmalleihin perustuvia iterointimenetelmiä, joista yksi on Neplan-ohjelmassakin oleva Newton-Raphson-menetelmä. Menetelmä perustuu siihen, että epälineaarisen funktion ratkaisu voidaan etsiä korvaamalla funktion kuvaaja likiarvon kohdalla tangentillaan ja laskemalla tangentin avulla parempi likiarvo. Kuvassa 1 on havainnollistettu Newton-Raphson-menetelmää. [3, s. 149.]



Kuva 1. Newton-Raphson-menetelmä. [3, s. 149]

Esimerkiksi jos halutaan löytää  $x$  siten, että yhtälö  $f(x) = y_1$  toteutuu ja alkuarvaus ratkaisulle on  $x_0$ , niin tehtävänä on löytää  $\Delta x_1$  siten, että

$$f(x_0 + \Delta x_1) = y_1$$

Lausekkeen Taylorin sarjasta otetaan vain kaksi ensimmäistä termiä, jolloin saadaan

$$\Delta x_1 = \frac{y_1 - f(x_0)}{f'(x_0)}$$

eli

$$x_1 = x_0 + \frac{y_1 - f(x_0)}{f'(x_0)}$$

Tämä vastaa kuvaajan korvaamista tangentilla. [3, s. 149–150.]

Kuormituksen ennustaminen helpottuu, mitä enemmän aikaisempia kuormitustietoja ja kuormituskäyriä on käytettävissä.

Kuormitusten suuruus ja ajallinen vaihtelu saadaan usein suoraan sähköverkon tietojärjestelmästä, joka laskee muuntopiirin asiakkaiden yhteenlasketun huipputehon kuormitusmallien avulla. Kuormitusvirrat huipputehoista voidaan laskea kaavalla 2.

$$I_v = \frac{P_{max}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} \quad (2)$$

jossa  $I_v$  on kuormitusvirta,  $P_{max}$  on huipputeho,  $U$  on pääjännite ja  $\varphi$  on vaiheensiirtokulma.

Johtojen kuormituksia voidaan verrata sallittuihin kuormituksiin ja tämän tiedon avulla voidaan estää mahdolliset vauriot. Näistä tuloksista voidaan paikallistaa myös ylimeritykset ja oppia ylimeritykseen johtaneista mahdollisista suunnitteluvirheistä. [2, s. 218.]

## 2.2 Oikosulun teoria

Oikosulku on sähköverkossa kahden tai useamman virtajohtimen välinen pieni-impedanssinen eristysvika. Oikosululle sähköverkossa voi olla useita syitä, mutta pääpiirteissään ne on mahdollista jakaa kolmeen eri pääryhmään. Oikosulku voi tapahtua pääeristyksen heiketessä, ylijännitteiden aiheuttamana tai virheellisten kytkentätoimenpiteiden aikaan saamana. Oikosulkusuojausta suunnitellessa on tärkeä pystyä määrittelemään oikosulkuvirrat eri tilanteissa ja eri osissa verkkoa.

## 2.3 Oikosulun vikatyypit

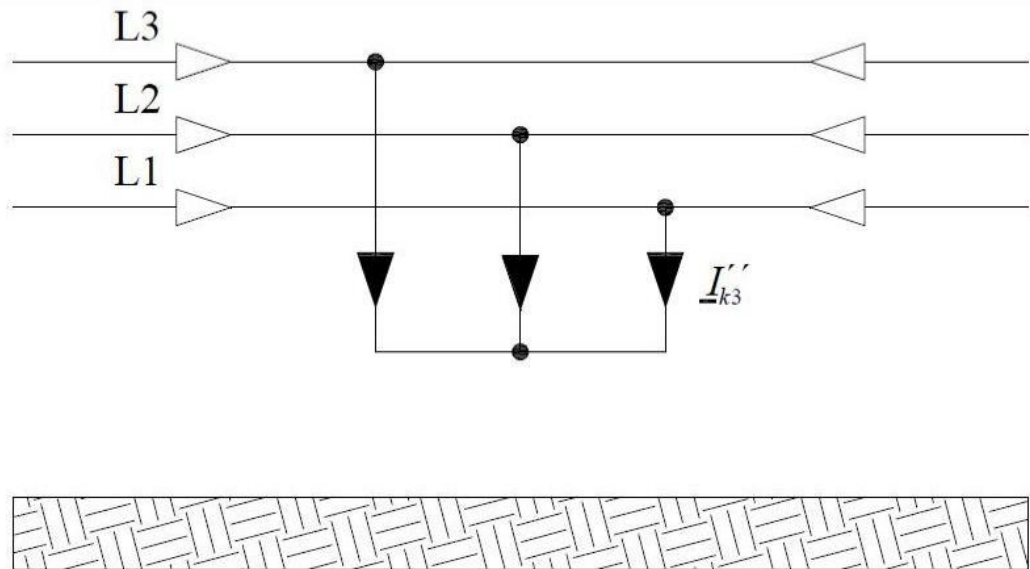
Sähköverkossa tapahtuvat viat voidaan jakaa vaikutuksiltaan symmetrisiin ja epäsymmetrisiin tapauksiin niiden syntymekanismien perusteella. Kolmivaiheinen oikosulku on luonteeltaan symmetrinen, kun taas kaksivaiheinen oikosulku, maasululla tai ilman, sekä pelkkä maasulku, ovat epäsymmetrisiä vikoja. Symmetria vaikuttaa verkossa esiintyvien virtojen ja jännitteiden suuruuteen, joka puolestaan johtaa siihen, että vikavirtojen laskenta on erilainen kussakin vikatyypissä. Taulukossa 1 on lueteltu jännitekerroimen  $c$  arvoja, joita käytetään oikosulkuvirtojen laskentayhtälöissä.

Taulukko 1. Jännitekerroin  $c$  standardin IEC 60909 mukaan. [5, s. 198.]

Nimellisjännite $U_n$	Suurinta oikosulkuvirtaa laskettaessa $c_{max}$	Pienintä oikosulkuvirtaa laskettaessa $c_{min}$
Pienjännite 100 V – 1000 V	1,05	0,95
Keskijännite 1 kV – 35 kV	1,10	1,00
Suurjännite >35 kV	1,10	1,00

### 2.3.1 Kolmivaiheinen oikosulku

Kolmivaiheinen oikosulku syntyy, kun verkon kaikki vaiheet kytkeytyvät yhteen. Tällöin verkon vaiheiden jännitteet tippuvat vikapaikassa noltaan ja kyseisessä kohdassa vaikuttaa oikosulkuvirta  $I_{k3}$ . Tilanne käy ilmi kuvasta 2, jossa on esitettyä alkuoikosulkuvirta  $I''_{k3}$ . Kyseisessä tilanteessa jokainen vaihe syöttää oikosulkuvirtaa vikapaikkaan ja järjestelmä on näin ollen symmetrisesti kuormitettu. Mustat viivat kuvaavat oikosulkuvirtoja ja valkoiset osaoikosulkuvirtoja.



Kuva 2. Kolmivaiheinen oikosulku vikavirtoineen. Virtojen suunnat on valittu mielivaltaisesti. [4, s. 175.]

Kolmivaiheinen oikosulku muodostaa oikosulkulaskennan perustapauksen, koska se johtaa useimmiten suurimpaan vikavirtaan. Kyseistä arvoa tarvitaan verkon mitoitus varten. Johtuen kolmivaiheisen oikosulun symmetrisestä muodosta on sen laskenta myös helpompaa kuin epäsymmetristen vikojen tapauksessa. [4, s. 175; 6, s. 44.]

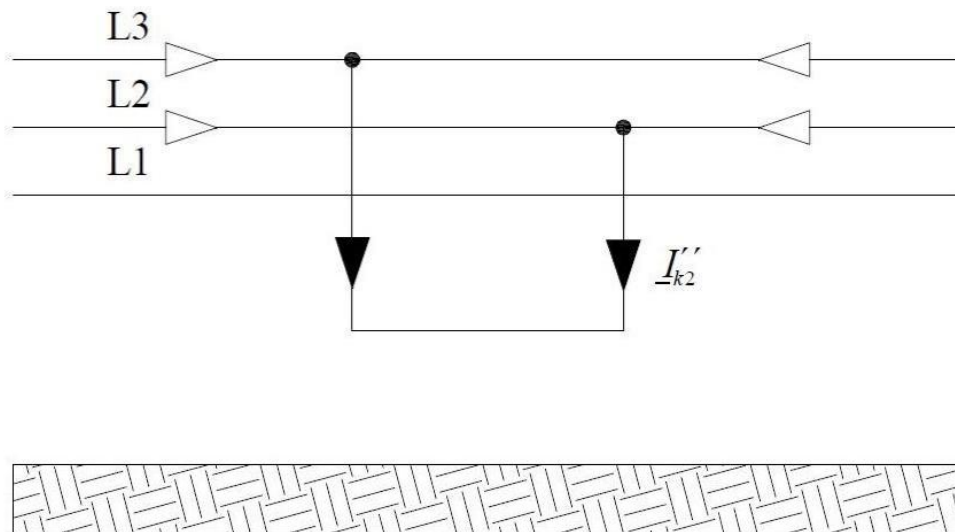
Kolmivaiheisen oikosulkuvirran  $I_{k3}$  laskeminen tapahtuu kaavalla 3.

$$I_{k3} = \frac{E_{ekv}}{\sqrt{(R_1^2 + X_1^2)}} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}Z_1} \quad (3)$$

jossa  $E_{ekv} = (cU_n/\sqrt{3})$  on vikapaikkaan sijoitettava ekvivalenttinen jännitelähde,  $R_1$  on oikosulkupiirin myötäresistanssi,  $X_1$  on oikosulkupiirin myötäreaktanssi,  $c$  on taulukon 1 mukainen jännitekerroin, jolla otetaan huomioon sähkömotoristen voimien ja nimellisjännitteen ero,  $U_n$  on vikapaikan nimellisjännite ja  $Z_1$  on oikosulkupiirin myötäimpedanssi.

### 2.3.2 Kaksivaiheinen oikosulku

Kaksivaiheisen vian oikosulkuvirta on lähes aina pienempi kuin kolmivaiheinen oikosulkuvirta. Nimensä mukaisesti vika tapahtuu kahden vaiheen välillä, mikä on havainnollistettu kuvassa 3. Alkuoikosulkuvirtaa kuvaa  $I'_{k2}$ .



Kuva 3. Kaksivaiheinen oikosulku vikavirtoineen. Virtojen suunnat on valittu mielivaltaisesti. [4, s. 175.]

Kaksivaiheinen oikosulkuvirta  $I_{k2}$  on mahdollista esittää kolmivaiheisen oikosulkuvirran  $I_{k3}$  avulla kaavan 4 mukaisesti.

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3}}{1 + \left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)} * I_{k3} \quad (4)$$

jossa  $Z_1$  on oikosulkupiirin myötäimpedanssi ja  $Z_2$  on oikosulkupiirin vastaimpedanssi.

Muuntajilla, johdoilla ja epätahtimoottoreilla myötä- ja vastaimpedanssit ovat yleensä yhtä suuret. [6, s. 44.] Yleensä kaikki pienjänniteverkkojen oikosulut tapahtuvat kaukana generaattorista, jolloin myös edellä mainitut impedanssit ovat yhtä suuret, mutta kaavan 5 mukaisen ehdon on täytyttävä. [7, s. 38.]

$$X_k \geq 2X_{sv} \quad (5)$$

jossa  $X_k$  on muuntajan oikosulkureaktanssi ja  $X_{sv}$  on syöttävän verkon reaktanssi.

Jos kaavan 5 ehto toteutuu, kaava 4 sievenee kaava 6:n muotoon

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3}}{2} * I_{k3} \quad (6)$$

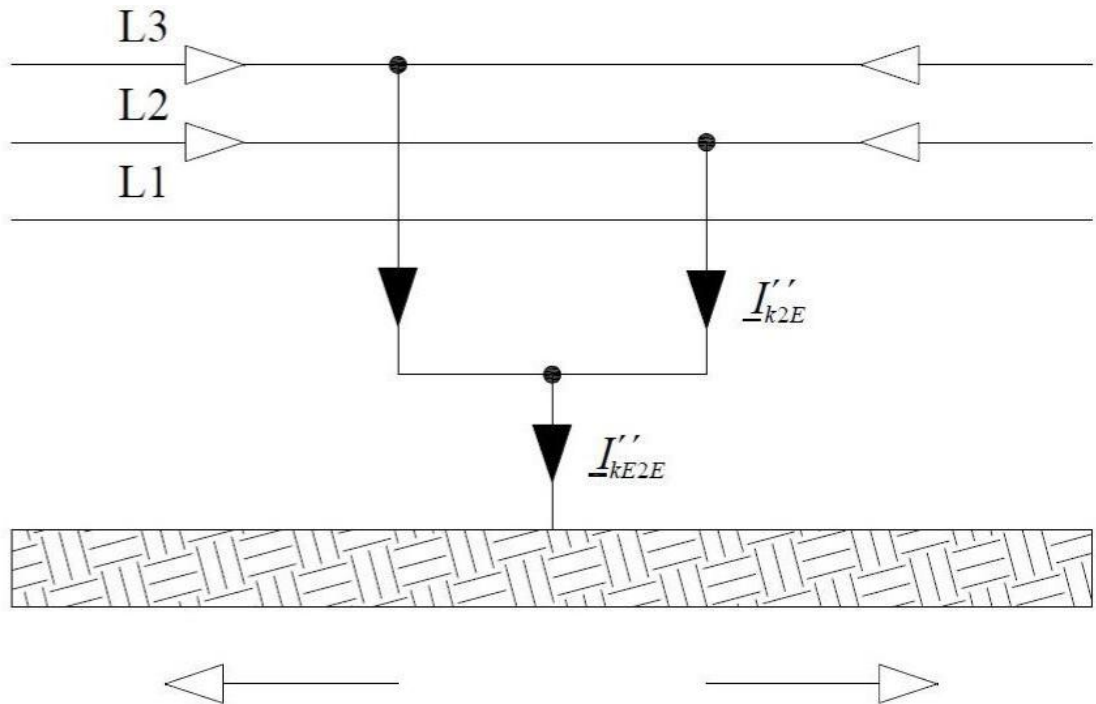
Mikäli oikosulkupiirin myötä- ja vastaimpedanssit ovat erisuuruiset, voidaan kaksivaiheinen oikosulkuvirta  $I_{k2}$  laskettua kaavan 7 mukaisesti. [6, s. 44.]

$$I_{k2} = \frac{cU_n}{|Z_1 + Z_2|} \quad (7)$$

Kaksivaiheiset oikosulkuvirrat ovat usein, varsinkin lyhyillä ja vahvoilla kaapeliyhteyksillä, pienjänniteverkoissa pienimpiä oikosulkuvirtoja. [6, s. 44.]

### 2.3.3 Kaksivaiheinen oikosulku maasululla

Kaksivaiheinen oikosulku maasululla tapahtuu yleensä kaksivaiheisen oikosulun takia. Vika on esitetty kuvassa 4, jossa on vikaan liittyvät alkuoikosulkuvirrat  $I''_{k2E}$  ja  $I''_{kE2E}$ .

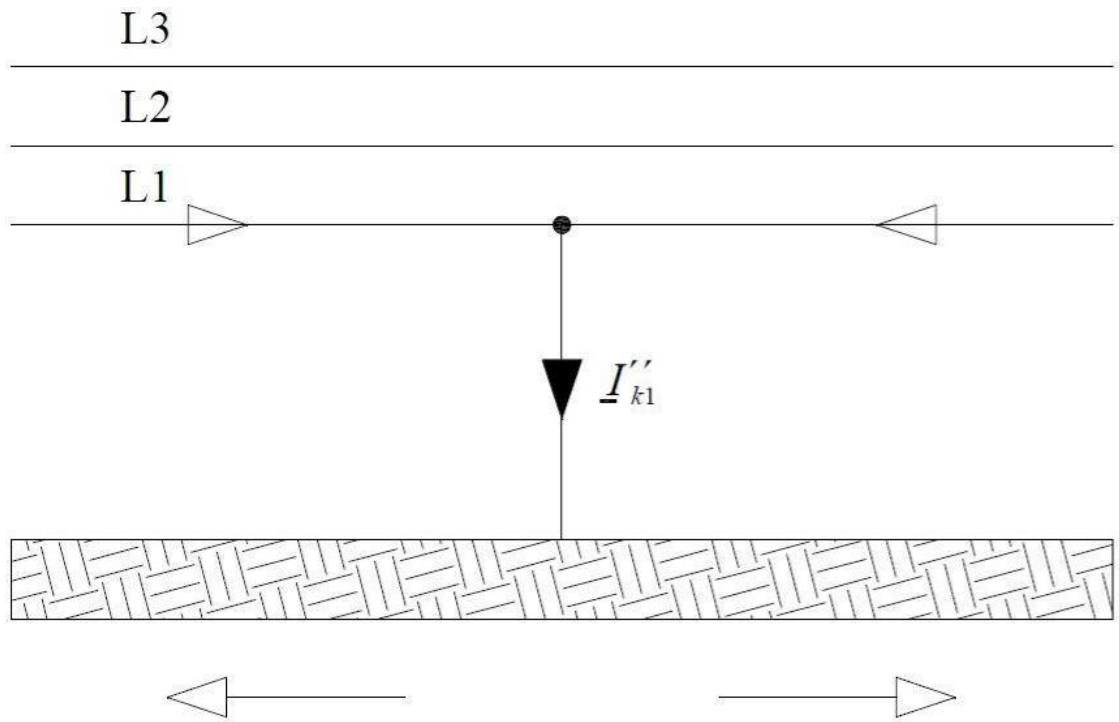


Kuva 4. Kaksivaiheinen oikosulku maasululla vikavirtoineen. Virtojen suunnat on valittu mielivaltaisesti. [4, s. 175.]

Vikavirtojen suuruuteen vaikuttaa vikapaikassa esiintyvä koko verkon impedanssi sekä mahdollinen vikaimpedanssi. Impedanssien suuruudesta riippuen vaiheissa ilmenevät vikavirrat voivat nousta yhtä suuriksi kuin pelkässä kaksivaiheisessa oikosulussa.

#### 2.3.4 Maasulku ja yksivaiheinen oikosulku

Sähköturvallisuusmääräyksissä maasulku on määritelty käyttömaadoittamattoman virtajohtimen ja maan tai maahan johtavassa yhteydessä olevan osan väliseksi eristysviaksi. Maasulkuilmiö poikkeaa olennaisesti oikosulusta silloin, kun verkon tähtipistettä ei ole maadoitettu. Verkkoon tulee tällöin haitallinen epäsymmetria, mutta ei kovin suurta vikavirtaa. [6, s. 44.] Kuvassa 5 on esitetty yksivaiheinen maasulku eli yksivaiheinen oikosulku. Alkuoikosulkuvirtaa kuvaa  $I''_{k1}$ .



Kuva 5. Maasulku vikavirtoiheen. Virtojen suunnat on valittu mielivaltaisesti. [4, s. 175.]

Maadoitetussa verkossa maasulku on siis luonteeltaan yksivaiheisen oikosulun kaltainen, kun vaihejohtimella on yhteys nollajohtimeen tai maahan. Yksivaiheinen oikosulku  $I_{k1}$  voidaan laskea kaavan 8 mukaisesti. [6, s. 44.]

$$I_{k1} = \frac{\sqrt{3} * c U_n}{|Z_1 + Z_2 + Z_0|} = \frac{\sqrt{3} * c U_n}{|2Z_1 + Z_0|} \quad (8)$$

jossa  $Z_0$  on oikosulkupiirin nollaimpedanssi.

Kolmivaiheisen oikosulkuvirran avulla yksivaiheinen oikosulkuvirta voidaan esittää kaavan 9 muodossa. [7, s. 39.]

$$I_{k1} = \frac{3}{1 + \left(\frac{Z_2}{Z_1}\right) + \left(\frac{Z_0}{Z_1}\right)} * I_{k3} \quad (9)$$

Myötä- ja vastaimpedanssien ollessa yhtä suuret kaava 9 sievenee kaavan 10 muotoon. [7, s. 39.]

$$I_{k1} = \frac{3}{2 + \left(\frac{Z_0}{Z_1}\right)} * I_{k3} \quad (10)$$

Yksivaiheisen oikosulun eli yksivaiheisen maasulun lisäksi maasulkuja voi kuitenkin olla erityyppisiä. Kuvassa 6 on esitetty erityyppisiä maasulkuja.



Kuva 6. Erityyppisiä maasulkuja. [8, s. 115.]

Kaksoismaasulku tapahtuu silloin, kun verkon kahdessa eri vaiheessa ja eri kohdissa verkkoa esiintyy samanaikaisesti vika. Kaksoismaasulku muistuttaakin kaksoisoikosulku, sillä vikavirta kulkee osan matkasta maan kautta. Vikavirta kulkee hyvin johtavia osia pitkin, esimerkiksi vesijohtoputkia tms. pitkin, ja jos maaperä johtaa huonosti, voivat vikavirrat aiheuttaa suuria vahinkoja kaapeleiden vaipoissa. [8, s. 115.]

#### 2.4 Jännitteenalenema

Kuormitusvirran kulkiessa johtimessa syntyy sen impedanssissa jännitteenalenema, jonka seurauksena jännite johdon loppupäässä on pienempi kuin sen alkupäässä. Jännitteenalenema on näiden johdon alku- ja loppupään jännitteiden erotus. Jännitteenalenemalla on suuri merkitys verkkoja mitoittaessa.

Jännitteenalenema ilmoitetaan usein prosentuaalisena arvona. Hyvän sähkön laadun takaamiseksi sen tulisi olla siirtoverkon johdoilla (400/110 kV) 5–15 %, maaseudun jakelujohdoilla (20/10 kV) 5-10 %, kaupunkien suurjännitejohdoilla (>36 kV) 0,5–2 %, maaseudun pienjännitejohdoilla (400/230 V) 5–10 % ja kaupunkien pienjännitejohdoilla (400/230 V) 2–3 %. [5, s. 2.]

Verkon jännitteenalenema voidaan käsin laskettaessa laskea kaavalla 11.

$$U_h = I \cdot R \cdot \cos\varphi + I \cdot X \cdot \sin\varphi \quad (11)$$

jossa  $U_h$  on jännitteen alenema,  $I$  on kuormitusvirta,  $R$  on johdon resistanssi,  $X$  on johdon reaktanssi ja  $\varphi$  on vaiheensiirtokulma.

Tällä kaavalla saadaan tulos vaihejännitesuureena, eli jos halutaan laskea prosentuaalisia jännitteenalenemia, on vertailujännitteenä käytettävä myös vaihejännitettä. Jännitteenaleneman prosentuaalinen arvo saadaan kaavalla 12. [5, s. 1.]

$$U_h\% = \frac{U_h}{U_v} * 100\% \quad (12)$$

jossa  $U_h$  on jännitteenalenema ja  $U_v$  on vaihejännite.

### 3 Sähköverkon suunnittelu

Sähköverkon suunnittelussa tärkeitä tavoitteita on suunnitella teknisesti toimiva, turvallinen ja kokonaiskustannuksiltaan optimoitu sähköverkko. Teknisellä toimivuudella tarkoitetaan, että verkon komponenttien tulee olla pitkäikäisiä ja kestäviä sekä jakelun ja siirron tulee olla luotettavaa, eli etenkin tavanomaisimpien vikojen, kuten johdon oikosulun, ei tulisi vaikuttaa sähkönjakeluun. Turvallisuusvaatimuksina on, että sähkönsiirto ja -jakelu eivät saa aiheuttaa vaaraa ihmisille eivätkä ne saa häiritä ympäristöä. [2, s. 63.]

Jotta sähkönsiirto ja -jakelu olisivat taloudellisia, tulee verkon komponenttien olla pitkäikäisiä ja oikein mitoitettuja, jotta ne kestävät verkossa esiintyvät rasitukset. Taloudellinen verkko on suunniteltu niin, että siihen on investoitu vain sen verran kuin on mahdollista ilman, että toimivuus ja luotettavuus kärsivät. Myös häviöt tulee minimoida.

Uuden verkon suunnitteluun liittyviä tehtäviä ovat muun muassa pitkän aikavälin kehittämissuunnittelu, verkostosuunnittelu, maastosuunnittelu, rakennesuunnittelu ja työsuunnittelu. Jo olemassa olevan verkon kehittämiseen tarvitaan kehityssuunnitelma. Suunnittelutehtävät voidaan jakaa lyhyen ja pitkän aikavälin suunnitteluun.

Pitkän aikavälin kehityssuunnittelun tarkoituksena on määrittää, miten suunnittelujakson aikana verkkoa tulisi pääpiirteissään kehittää. Suunnittelussa määritetään tarkasteltavan ajanjakson, joka on noin 5–15 vuotta, tarvittavan suuret investoinnit, jotta verkko täyttää asetetut vaatimukset. Pääpiirteinen suunnitelma on pohja tarkemmalle verkostosuunnittelulle ja se sisältää tärkeää taustatietoa suunnittelua varten. Suunnitelmasta selviää kehityssuunnitteluun ja yksityiskohtaisempaan suunnitteluun tarvittavat lähtötiedot sekä periaatteet. [2, s. 64; 3, s. 73.]

Lyhyen aikavälin suunnittelussa laaditaan noin viiden vuoden tarkastelujaksolle rakennusohjelmat. Näiden perusteella tehdään tarkemmat suunnitelmat esimerkiksi johdoista sekä sähköasemien rakenteista ja varusteista. [3, s. 74.]

Verkostosuunnittelun tavoite on määrittää investointien kohteet. Verkostosuunnittelussa mitoitetaan verkon komponentit, kuten johtimet ja muuntajat, sekä päätetään rakentamisen toteutusajankohta.

Maastosuunnittelussa määritetään esimerkiksi tarkka johtoreitti ja mahdolliset maastoprofiilit. Suunnitelmaan sisältyy myös maankäyttöön liittyvät sopimukset.

Rakennesuunnitelmassa mitoitetaan verkon varsinaiset rakenteet, kuten pylväät ja sen osat, ja sijoitetaan rakenteet lopullisille paikoilleen. Rakennesuunnitelmasta löytyy tekniset piirrokset sekä tarvikkeiden tilaukseen ja toimittamiseen tarvittavat tarvikeluettelot.

Työsuunnittelun tavoitteena on aikatauluttaa työn suoritus sekä määrittää toteutukseen tarvittavat resurssit. Kyseisiin resursseihin kuuluvat henkilö- ja työvälinekustannukset. [2, s. 64.]

Kun jo olemassa olevaa verkkoa halutaan kehittää, tulee tehdä kehittämissuunnittelu. Tämän suunnitelman olennaisia periaatteita ja parametreja ovat

- jakelujärjestelmän jännitetasot

- verkon rakenteet ja komponentit
- suunnittelun reunaehdot, kuten jännitteenalenema ja vikavirtakestoisuudet
- talouslaskennan perusparametrit eli häviöiden hinnat, korko ja pitoajat
- keskeytyskustannuslaskennan parametrit
- mitoitustehojen perusteet eli normaalitilanne ja häiriötilanne
- verkon käytettävyyssvaatimukset, jossa otetaan huomioon mitoitusviat
- suunnittelujakson pituus
- kuormitusennusteet.

Näiden parametrien lisäksi tulee huomioida myös verkon ympäristön kehitys. Monesti jo olemassa olevaa sähköverkkoa tulee laajentaa uusien asiakkaiden ja lisääntyneen kuormituksen takia. Suunnitelmissa tulee kuormitusennusteiden lisäksi määrittää ja dokumentoida kyseiset parametrit tulevaisuutta varten. [2, s. 68–69, 216.]

#### **4 Neplan-ohjelma**

Tämä työ hyödyntää Neplan-ohjelma versiota 545 verkon mallintamisessa ja laskennassa. Neplan on moduulipohjainen ohjelma, jolla on versiosta riippuen mahdollista mallintaa sähkö-, kaasu- tai vesiverkkoja. Tämä työ kuitenkin keskittyy yksinomaan sähköverkkojen mallintamiseen ja laskemiseen.

Ohjelman on alun perin kehittänyt sveitsiläinen BCP Busarello -yhtiö ja ohjelma tunnettiin aiemmin nimellä Calpos. Nykyään ABB omistaa kehittäjäyhtiön ja uusien järjestelyjen jälkeen ohjelmaa markkinoidaan ABB:n toimesta nimellä Neplan.

Neplan hyödyntää lisenssisopimuksia, joiden perusteella ohjelmasta on käytössä aina rajattu määrä ominaisuuksia. Ohjelma on asennettavissa yksittäisen käyttäjän koneelle, jossa se vaatii toimiakseen joko konekohtaisen tai serverillä sijaitsevan lisenssiavai-

men. Lisenssistä riippuen ohjelmaa on mahdollista käyttää joko yhden tai useamman henkilön toimesta. Metropolia Ammattikorkeakoulussa lisenssi mahdollistaa 20 henkilön ohjelman yhtäaikaisen käytön.

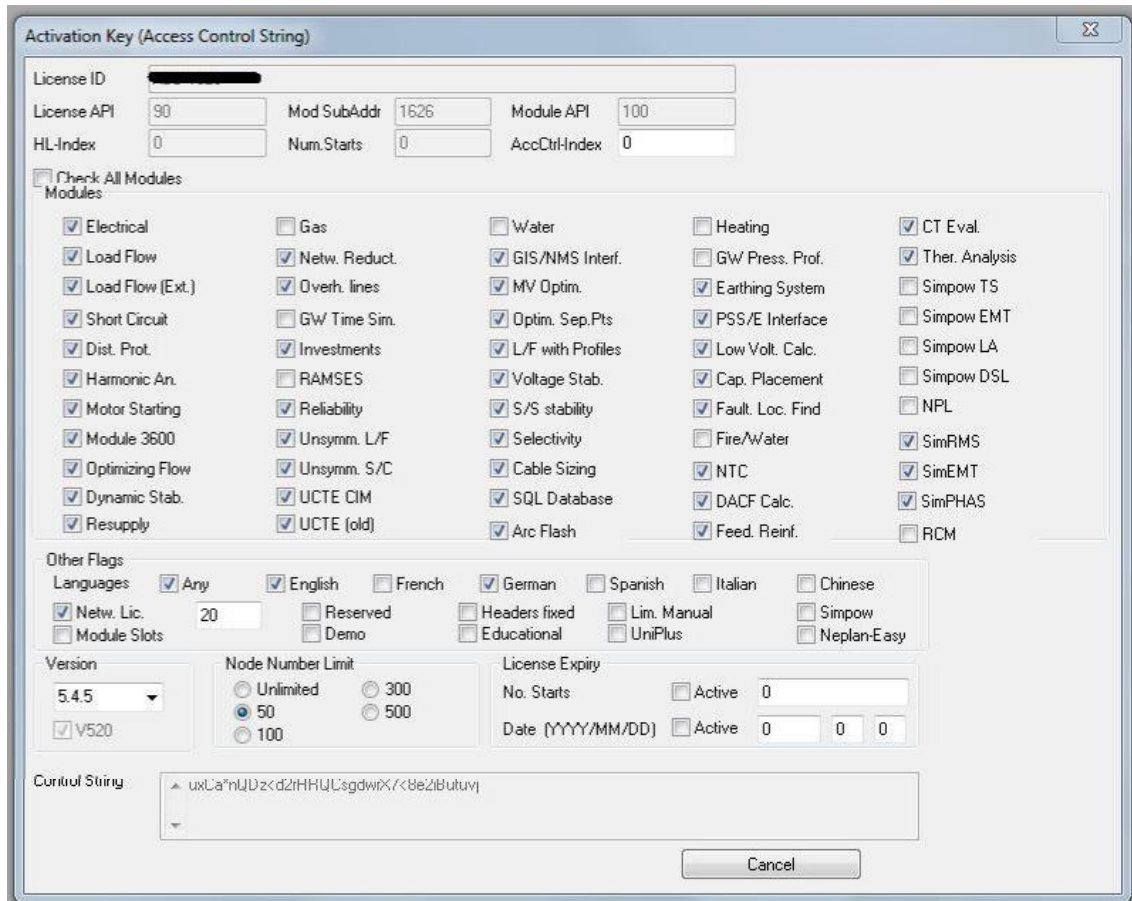
Ohjelman käyttö tapahtuu graafisella käyttöliittymällä, joka vastaa ulkonäöltään tavantomaisia Windows-ohjelmia. Käyttöliittymän avustuksella sähköverkko voidaan mallintaa pääkaaviotyypiseen muotoon. [8; 9.]

#### 4.1 Laskentamoduulit

Verkon laskenta ja analysointi tapahtuu graafisesti mallinnetun verkon pohjalta, joka sisältää kunkin elementin eli laitteen sähköiset arvot. Näiden tietojen perusteella saadaan verkkoa analysoidua tarvittavan laskentamoduulin avulla. Ohjelmassa on käytössä erilaisia laskentamoduuleita laaja valikoima, ja moduulien hyödynnettävyys riippuu kulloinkin käytössä olevasta lisenssistä. Metropolia Ammattikorkeakoulussa tärkeimmät käytössä olevat moduulit mahdollistavat tehonjako- että vikavirtatarkastelut, joihin tämä työ keskittyi.

Kukin laskentamoduuli pitää sisällään erilaisia asetuksia, joiden perusteella on mahdollista valita käytettävät laskentamenetelmät sekä määrittää, mitä arvoja mallinnetusta verkosta hyödynnetään laskennassa. [9.]

Kuvassa 7 on esitetty Metropolia Ammattikorkeakoulun käyttämät moduulit.



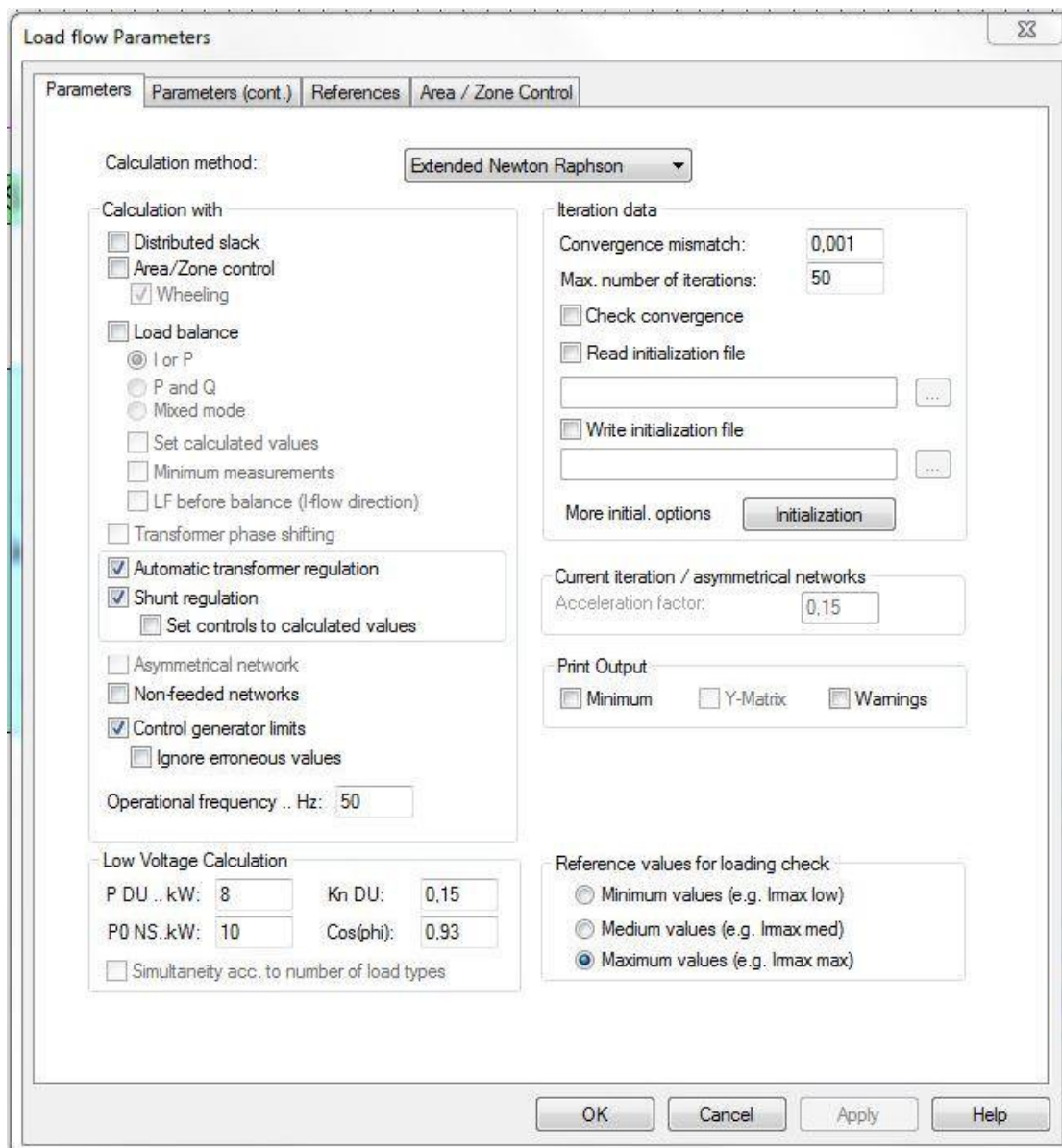
Kuva 7. Neplan-ohjelmiston laskentamoduulit Metropolia Ammattikorkeakoulussa. [9].

#### 4.1.1 Tehonjaonlaskentamoduuli

Tehonjakomoduuli mahdollistaa verkon kuormitusten sekä tehon jakautumisen selvittämisen sähköverkon eri osien välillä. Tehonjakomoduuli on perusmoduuli ohjelman käytön kannalta, ja sitä tarvitaan kaikkien muiden moduulien laskennan pohjaksi. Tietoina hyödynnetään verkon elementeille annettuja sähköisiä arvoja, kuten esimerkiksi komponenttien resistansseja sekä reaktansseja. Laskennan perusteella on mahdollista selvittää verkossa kulkevat pätö- ja loistehot sekä niiden aiheuttamat kuormitukset verkon eri solmupisteissä.

Ohjelmassa on mahdollista valita tehonjakolaskennassa käytettävä menetelmä, joka on oletusarvoisesti laajennettu Newton-Raphson-menetelmä. Muina vaihtoehtoina ovat mm. tavallinen Newton-Raphson-menetelmä, virta-iterointi ja jännitteenaleneman selvittäminen. Näiden lisäksi on mahdollista selvittää tasavirtajärjestelmien tehonjako. [9.]

Kuvassa 8 on Neplan-ohjelman parametri-ikkuna, jossa voidaan valita ja asettaa tehonjaon laskentaperusteita sekä oletuksia.



Kuva 8. Neplan-ohjelman tehonjakolaskennan parametrien asetteluikkuna. [9.]

#### 4.1.2 Oikosulkulaskentamoduuli

Vikavirtalaskentaa varten ohjelmassa on oikosulkumoduuli, jossa on mahdollista mallintaa eri vikatyyppejä sekä laskea niissä esiintyviä virtoja. Moduulin avulla voidaan laskea vikavirrat kolmivaiheisessa ja kaksivaiheisessa oikosulussa sekä maasulussa että kaksivaiheisessa oikosulussa maasululla. Laskennassa hyödynnetään haluttua

standardia, kuten esimerkiksi IEC- ja ANSI-standardia ja niihin liittyviä laskentamenetelmiä.

Oikosulkumoduuli mahdollistaa vian melko vapaan kuvaamisen, antaen muuttaa vian tyyppiä, kestoja sekä ilmenemispaiikkaa. Yleisesti vika voidaan kuvata tapahtuvaksi jossain solmupisteessä tai näitä yhdistävällä johdolla. Laskennassa saadut virta-arvot ovat vapaasti valittavissa ja esitettävissä joko suoraan verkkomallissa tai taulukossa. [9.]

Verkon analysoinnissa käytettävät menetelmät sekä oletukset ovat säädettävissä moduulin parametri-ikkunassa, joka on esitetty kuvassa 9.

The image shows a software window titled "Short Circuit Parameters" with several tabs: "Parameter", "Faulted nodes", "Faulted lines", "Special fault", and "Arc Flash Calculation". The "Parameter" tab is active. The window contains various input fields, checkboxes, and dropdown menus for configuring short-circuit calculations. Key settings include:

- Fault type:** 3phase fault
- Calculation method:** IEC60909 2001
- ik" max calculation:**
- Load flow before Short circuit calculation:**
- Fault distance (number of nodes) for display of results:** 0
- Asymmetrical network:**
- Calculation according to IEC60909:**
  - Automatic selection of c factor: 1.1
  - Reduced tolerance in low-voltage system (only +6%)
  - R/X at fault location for ip branch calculation
  - Fault duration in s for thermal current calculation: 1
  - Fault duration in s for DC current IDC calculation: 0.02
  - Time delay of CB in s for breaking current calc. Ib: 0.02
- Calculation according to IEC61363-1 or IEC 61660-1(DC):**
  - Currents at time .. s: 0
  - Time delay of CB in s for breaking current calc. Ib: 0
  - Preload conditions: Nominal values
  - Time Behaviour
  - T end .. s: 0
- Calculation according to ANSI:**
  - Number of Cycles for DC current IDC calculation: 2
  - Number cycles for breaking current calculation Ib: 2
  - E operating .. pu: 1
- Arc Impedance (not according to IEC/ANSI):**
  - Resistive part .. Ohm: 0
  - Reactive part .. Ohm: 0
- References:**
  - IEC/ANSI: Voltage as Superposition Method
  - Current reference:  U equivalent  U Node
- Resonance earthed and isolated networks:**
  - Simplified zero sequence impedance calculation
  - Un of resonance earthed or isolated network..kV: 0
- Result File:**
  - Write after calculation
  - Format 4x
- Maximal loading of elements:**
  - Loading .. %: 100

Buttons at the bottom: OK, Cancel, Apply, Help.

Kuva 9. Neplan-ohjelman oikosulkulaskennan parametrien asetteluikkuna. [9.]

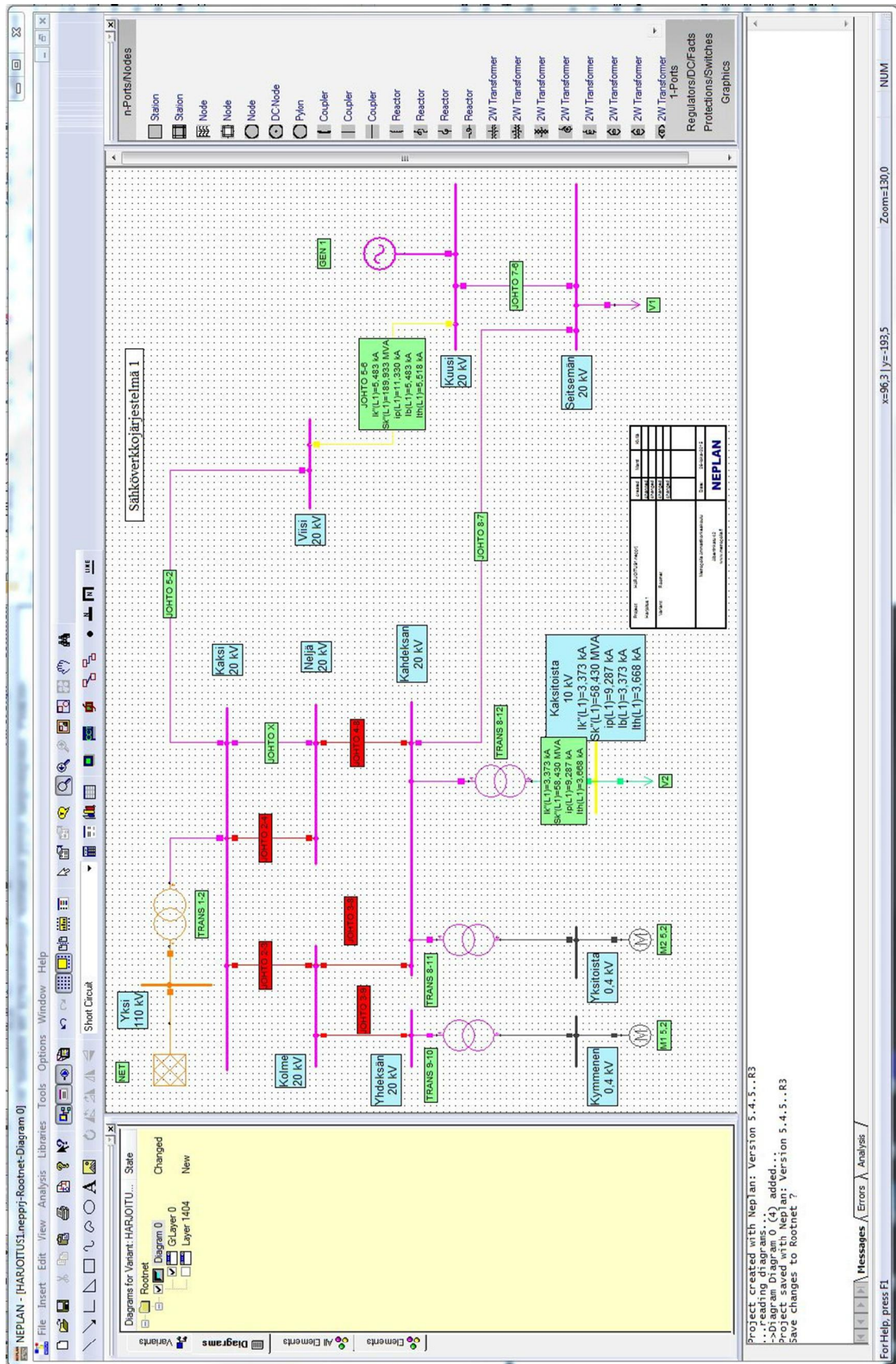
## 4.2 Ohjelman käyttö

Ohjelman käyttö perustuu laskettavasta verkosta muodostettavaan malliin, jolle suori-taan laskentamoduuleita hyödyntäen halutut tarkastelut. Verkkojen kytkentöjen mallin-taminen tapahtuu yksinkertaisesti piirtämällä. Verkon piirto tapahtuu ohjelmassa olevan symbolikirjaston avulla, joka sijaitsee ohjelmaikkunan oikeassa reunassa. Kyseinen kirjasto pitää sisällään verkoissa yleisesti olevat laitteet ja komponentit, ja niiden lisäys tapahtuu yksinkertaisesti raahaamalla ja pudottamalla ne keskelle piirtoalueelle eli työ-tilaan. Kullekin laitteelle on määriteltävissä niiden ominaisuudet syöttämällä sähköiset arvot, jotka riippuvat niin itse laitteesta, kuin myös siitä mitkä tiedot ovat tarvittavia las-kennassa.

Verkkojen piirtäminen tapahtuu ohjelmaikkunassa työtilaan, joka sijaitsee keskellä. Projektiin voidaan luoda useita diagrammeja eli tässä tapauksessa rinnakkaisia työtilo-ja, jotka ovat yhteydessä toisiinsa. Näin kaikkea ei tarvitse piirtää samaan kuvaan, vaan esimerkiksi pääkaavio voi olla yhdellä diagrammilla ja alakeskukset omilla dia-grammeillaan.

Käyttämällä useampia diagrammeja projekti on mahdollista pitää yksinkertaisena ja näin ollen verkon hallinta eri kytkentätiloja tehtäessä pysyy helpompana. Pääkaavioon liittyvät aladiagrammit mahdollistavat esimerkiksi alakeskusten täydellisen mallintami-sen ilman, että työtilan piirtoalue tai keskusten väliset kytkennät rajoittaisivat niiden kuvaamista. Ohjelma kuvaa myös jokaisen jännitetason omalla värillään, mikä osaltaan parantaa verkon havainnollisuutta. Värien määrittely ja asettelu on täysin käyttäjän hal-linnassa. Myöskin eri virhetiloissa, kuten esimerkiksi liian suuren jännitteenaleneman tapahtuessa, voidaan valita vian väri kyseiselle komponentille. Oletuksena ohjelmassa vian väri on punainen.

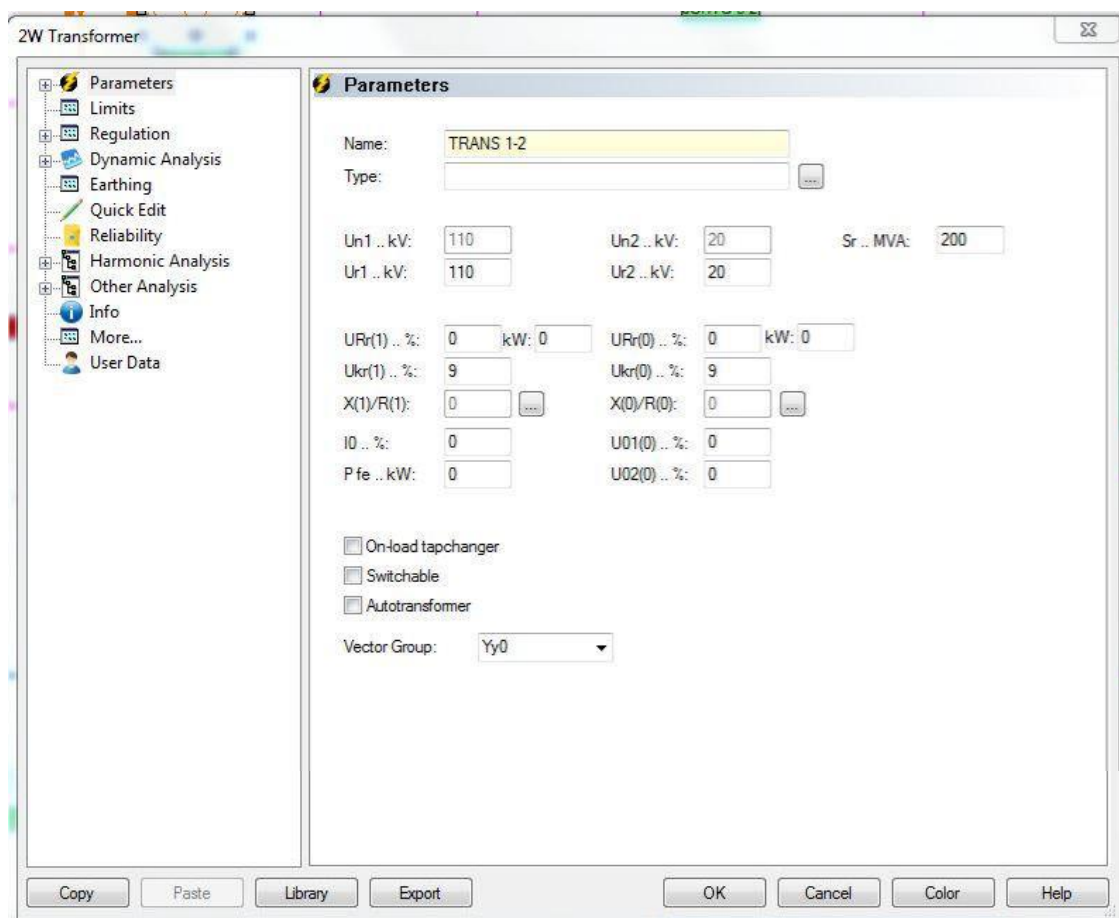
Kun kaikki verkon laitteet on kuvattu sekä syötetty jokaiselle komponentille niiden pa-rametrit, on mahdollista suorittaa verkolle laskennat riippuen käytettävissä olevista las-kentamoduuleista. Kuvassa 10 on esitetty malli sähköverkojärjestelmästä Neplan-ohjelmassa, josta tulee ilmi eriväriset jännitetasot, keskellä oleva piirtoalue eli työtila, ohjelman oikeassa reunassa oleva symbolikirjastoikkuna ja vasemmassa reunassa oleva diagrammien hallintaikkuna. [9.]



Kuva 10. Mallikuva Neplan-ohjelman keskellä työtalassa olevasta sähköverkkojärjestelmästä, jossa on eri väreillä kuvattu eri jännitetasoja. [9.]

Elementtien, eli komponenttien, parametrien asettelu toimii yksinkertaisesti valittua komponenttia kaksoisklikkaamalla, jolloin parametrien asetteluikkuna avautuu. Käyttäjältä kuitenkin vaaditaan paljon ymmärtämistä komponenttien toiminnasta, sillä kaikki komponentin parametrit eivät ole tärkeitä tulla määrittelyiksi komponentin toimimisen kannalta, mutta osa parametrien määrittelyistä ovat ehdottoman tärkeitä elementin simuloinnin oikeintoimimisen kannalta. [9.]

Kuvassa 11 on esitetty muuntajan parametrien asetteluikkuna, josta näkee sekä muuntajan mahdolliset parametrit että myös vasemmassa reunassa olevat monet välilehdet.



Kuva 11. Muuntajan parametrien asetteluikkuna Neplan-ohjelmassa. [9.]

Kun verkkomalli sekä komponenttien tiedot on piirretty ja syötetty projektiin, voidaan verkkoa analysoida laskentamoduuleilla. Näiden käyttö on periaatteessa melko vaivatonta, mutta vaatii tiedot laskennan taustalla olevasta teoriasta. Laskennan parametrit ovat melko vapaasti säädettävissä ja jos ei tiedetä mitä ollaan tekemässä, voi seurauksena olla se, että saadut tulokset eivät vastaakaan oikeita arvoja. On kuitenkin mahdol-

lista, että hyvän laskentakokemuksen omaava henkilö tekee ohjelman laskentamoduuleihin perussäädöt. Perussäätöjen ollessa kohdallaan verkko on laskettavissa myös sellaisten toimesta, joilla ei ole täydellistä tietoa itse laskennan periaatteista. Laskennassa saadut tulokset on mahdollista esittää ohjelmassa joko suoraan verkkomallissa graafisesti tai sitten taulukoissa. Tuloksista voidaan valita vapaasti näkyviin ne tiedot, jotka ovat kiinnostavimmat. [9.]

#### 4.3 Neplan-ohjelman laskentaesimerkki

Tätä insinööriä varten luotiin malliesimerkki sähköverkköjärjestelmästä, jonka avulla tehtiin tehojako-, jännitteenalenema- ja oikosulkulaskennat. Esimerkin sähköverkköjärjestelmä tehtiin suunnittelukriteerien kannalta puutteelliseksi, jotta käyttäjällä olisi mahdollisuus ratkaista järjestelmän ongelmat itsenäisesti aiempaa opittua hyödyntäen. Eräs malliratkaisu oli muuttaa johtojen parametreja, jolloin liian suuret jännitteenalenemat sekä johtojen liian heikko tehokestoisuus saatiin korjattua. Ratkaisu ei kuitenkaan ollut taloudellisesti kaikkein optimaalisin, joten suunniteltaessa itsenäistä ratkaisua tämän työn malliesimerkkiin käyttäjän olisi hyvä muistaa myös taloudellinen näkökulma. Kuvassa 12 on esitetty malliratkaisun sähköjärjestelmän mallikuva sekä uudet tarvittavat johtojen parametrit.



Lines (Johdot)		Numb er of lines	Units	R(1) Ohm/..	X(1) Ohm/..	C(1) uF/..	G(1) uS/..	R(0) Ohm/..	X(0) Ohm/..	C(0) uF/..	Ir max (low) A	max (high) A	Red. fact.	Q mm2 mm2
Nimi	Length km													
Johto 2-3	3	3	Ohm/km	0,005	0,005	0,01	0	0,001	1,6	0,005	0	300	1	0
Johto 2-4	2,5	1	Ohm/km	0,2	0,403	0,01	0	0,2	1,5	0,005	0	100	1	0
Johto X	3,8	1	Ohm/km	0,45	0,403	0,01	0	0,45	1,4	0,005	0	90	1	0
Johto 5-2	7,8	1	Ohm/km	0,091	0,415	0,01	0	0,13	1,659	0,004	0	200	1	0
Johto 3-9	1	3	Ohm/km	1	1	1	0	1	1	1	0	60	1	0
Johto 3-8	0,5	3	Ohm/km	0,5	0,413	0,01	0	0,5	1,619	0,004	0	75	1	0
Johto 4-8	4	1	Ohm/km	1	0,41	0,01	0	1	1,599	0,004	0	100	1	0

Kuva 13. Esimerkkiratkaisun mallikuva johtojen parametrien asettelusta Neplan-ohjelmassa.

Liitteessä 1 on lisäksi esitetty kuvat malliesimerkkinä toimivasta sähköverkkojärjestelmästä, komponenttien parametrien asettelusta, tehojako- ja oikosulkulaskennasta, alaverkosta sekä laskentatulosten taulukoimisesta ohjelman sisäisesti Neplan-ohjelmassa.

## 5 Yhteenveto

Neplan-ohjelman hyviä puolia on sen tarkka, mutta yksinkertainen mallinnusympäristö. Ohjelma antaa mahdollisuuden luoda hyvinkin monimutkaisia verkkoja alaverkkoineen ilman, että verkon rakenteesta tulee liian vaikeaselkoinen. Oikeaan verkkoon tehtävät muutokset on helppo mallintaa ja testata ohjelmassa ennen varsinaisia muutoksia. Neplan ottaa huomioon myös taloudellisen ylläpidon kustannukset tarvittaessa. Oleellimmat ominaisuudet ovat verkon rakenteen tutkiminen ja verkon simulointi sekä kuormitustilanteen vaivaton tarkastelu. Näin voidaan tarvittaessa ohjata tehoja tarvittaviin kohteisiin ja huomata ongelmakohdat verkon toiminnassa.

Laskennallisista ominaisuuksista tärkeimmät ovat tehon jako, erilaiset oikosulkuvirrat ja jännitteenalenema. Neplan-ohjelma mahdollistaa nämä kaikki, kunhan käytössä on ohjelmaan tarvittavat moduulit. Standardien mukaiset raja-arvot ovat vapaasti käyttäjän muokattavissa sekä laskennalliset tulokset ovat taulukoitavissa, joko ohjelman sisäisesti tai ulkoisesti esimerkiksi Microsoft Excel -ohjelmaan.

Uuden käyttäjän kannalta ohjelman käyttö on melko helppoa. Ohjelma itsessään noudattaa Windows-ohjelmien yleisiä periaatteita niin ulkonäöltään kuin myös perustoiminnoiltaan. Verkkojen mallintaminen symbolikirjastoa hyödyntäen on yksinkertaista ja sujuu melko hyvin lyhyen tutustumisen jälkeen. Ongelmia saattaa tulla sähköverkkojen kuvaamisessa komponenttien yhteenliitettävyyden suhteen. Ohjelma vaatii joidenkin komponenttien kohdalla, että jännitetasot vastaavat toisiaan. Tällöin näiltä osin on hyötyä, jos käyttäjällä on sähkökuvien peruslukutaidot ja perusymmärryksen sähköverkkotekniikasta. Paras tapa oppia ohjelman käyttö on saada siihen perehtyneeltä henkilöltä opastusta. Tällöin vastaukset ovat nopeammin saatavissa, eikä kaikkia tietoja tarvitse etsiä erikseen ohjelman sisäisistä tiedostoista. Ohjelmaan liittyen on mahdollista saada myös kursseja ohjelmiston toimittajien puolesta, mutta kurssien huonona puolena on niiden melko korkea hinta, joka rajoittaa kursseille osallistumista. [10.]

Vaikka itse verkkokuvan piirto on melko yksinkertaista, ei komponenttien tietojen syöttäminen, varsinkaan käytön alussa, ole helppoa. Koska ohjelma pitää sisällään kaikki analysointimoduulit ja näihin liittyvät tiedot eri komponenteissa, tarvitaan komponenttien tietojen syöttämiseen hyvä sähköalan tuntemus. Vaativin prosessi ohjelman hyödynnettävyyden kannalta on uudella käyttäjällä selvittää, mitkä arvot eri laitteilla tarvitaan missäkin laskentatapahtumassa. Monella komponentilla saattaa olla parametrien asettelussa lukuisia välilehtiä, joista ei välttämättä saada selville mitkä arvot ovat pakollisia missäkin tilanteessa.

## Lähteet

- 1 SFS 6001-601-6. Suurjännitesähköasennukset. 2012. Eräitä asennuksia koskevat täydentävät vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 2 Lakervi, Erkki & Partanen, Jarmo. 2009. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Otatieto.
- 3 Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa. 2011. Sähköverkot I. Helsinki: Otatieto.
- 4 International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 909 Short-circuit current calculation in three-phase a.c. systems. 1988. Genève: IEC.
- 5 ABB. 2000. Teknisiä tietoja ja taulukoita. 9. painos. Vaasa: ABB.
- 6 Huotari, Kari & Partanen, Jarmo. 1998. Teollisuusverkkojen oikosulkuvirtojen laskeminen. Opetusmoniste. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, sähkötekniikan osasto.
- 7 Pirttilä, Veikko. 1985. Oikosulku- ja maasulkuvirtojen laskeminen teollisuussähköverkossa. Helsinki: INSKO.
- 8 Elovaara, Jarmo & Laiho, Yrjö. 1990. Sähkölaitostekniikan perusteet. Helsinki: Otatieto.
- 9 Neplan-ohjelma, versio 545.
- 10 Neplan. Verkkodokumennti. Neplan AG.  
<<http://www.neplan.ch/neplanproduct/training/>>. Luettu 15.10.2015.



Network Feeder (Syöttö)														
Nimi	SK"max MVA	IK"max kA	max	Z(0)/Z(1) max	C1 uF	SK"min MVA	IK"min kA	R(1)/X(1) min	Z(0)/Z(1) min	LF-type	U oper %	I <sub>r</sub> max (high) A	P oper MW	Q oper Mvar
NET	2000	10,497	0,1	1,667	0	2000	10,5	0	0	0 SL	100	0	0	0
Lines (Johdot)														
Nimi	Length km	Number of lines	Units	R(1) Ohm/..	X(1) Ohm/..	C(1) uF/..	G(1) uS/..	R(0) Ohm/..	X(0) Ohm/..	C(0) uF/..	I <sub>r</sub> max (low) A	I <sub>r</sub> max (high) A	Red. fact.	mm2
Johto 2-3	2,5	1	Ohm/km	0,001	0,001	0,009	0	0,001	1,6	0,005	0	100	1	0
Johto 2-4	1,6	1	Ohm/km	0,2	0,403	0,009	0	0,2	1,5	0,005	0	100	1	0
Johto X	3,8	1	Ohm/km	0,45	0,403	0,009	0	0,45	1,4	0,005	0	90	1	0
Johto 5-2	7,8	1	Ohm/km	0,091	0,415	0,009	0	0,13	1,659	0,004	0	200	1	0
Johto 3-9	0,6	1	Ohm/km	0,2	0,413	0,009	0	0,2	1,639	0,004	0	60	1	0
Johto 3-8	0,1	1	Ohm/km	0,5	0,413	0,009	0	0,5	1,619	0,004	0	75	1	0
Johto 4-8	2	1	Ohm/km	0,5	0,41	0,009	0	0,15	1,599	0,004	0	100	1	0
Johto 5-6	11,9	1	Ohm/km	0,141	0,413	0,009	0	0,16	1,649	0,004	0	190	1	0
Johto 8-7	19,1	1	Ohm/km	0,112	0,4	0,009	0	0,144	1,587	0,005	0	200	1	0
Johto 7-6	1,61	1	Ohm/km	0,066	0,382	0,01	0	0,085	1,459	0,004	0	400	1	0
Loads (Kuormat)														
Nimi	LF-type	P MW	Q Mvar	Domestic Units	Units									
V1	PQ	4	2	0 HV	0 HV									
V2	PQ	5	4	0 HV	0 HV									

Syötön, johtojen ja kuormien tarvittavat parametrit sähköverkkojärjestelmän mallikuvaan.

Synchronous Machines (Tahtikoneet)														
Nimi	Sr MVA	Ur kV	pUr %	cosphi	xd sat %	xd' sat %	xd'' sat %	x(2) %	x(0) %	Ufmax/ur kA	ukr(0) %	uRr(0) %	Sr min MVA	Sr max MVA
GEN 1	45	11	0	0.85	160	0	20	20	20	2	0	0		
Nimi	mue	RG	Turbo	Amort. Winding	Unit Generator	Motor	LF-type	P oper MW	Q oper Mvar					
GEN 1	0	0	1	1	1	0	PQ	8	2					
Transformers (Muuntajat)														
Nimi	From Node	To Node	Vector Group	Unit Trasf.	Comp. Winding	Sr MVA	Ur1 kV	Ur2 kV	ukr(1) %	uRr(1) %	ukr(0) %	uRr(0) %	Sr min MVA	Sr max MVA
TRANS 1-2	Yksi	Kaksi	YV0	0	0	200	110	20	9	0	9	0	200	200
TRANS 9-10	Yhdeksän	Kymmenen	YNd11	0	0	14	20	0.4	8.46	0	8.46	0	14	14
TRANS 8-11	Kahdeksan	Yksitoista	YNd11	0	0	12	20	0.4	10	0	10	0	12	12
TRANS 8-12	Kahdeksan	Kaksitoista	YNd11	0	0	6	20	10	10	0	10	0	6	6
Asynchronous Machines (Epätahtikoneet)														
Nimi	Pr mech.. MW	Sr MVA	Ur kV	Ir A	cosphi at Sr and sr	Efficiency at Sr and sr	la/lr	Number s	cosphi start	Ma/Mr	Mk/Mr	Rated slip sr %		
M1	Kymmenen	5	6.58	5.2	0.7305	0.8	0.95	5	1	0.3	0.9	2.2		
M2	Yksitoista	5	6.68	5.2	0.7305	0.8	0.95	5	1	0.3	0.9	2.2		
Nimi	H	LF-type	P oper MW	Q oper Mvar	r/min	ANSI factor								
M1	0.742	PQ oper	4	3	1.5	2940								
M2	0.742	PQ oper	2	1	1.5	2940								

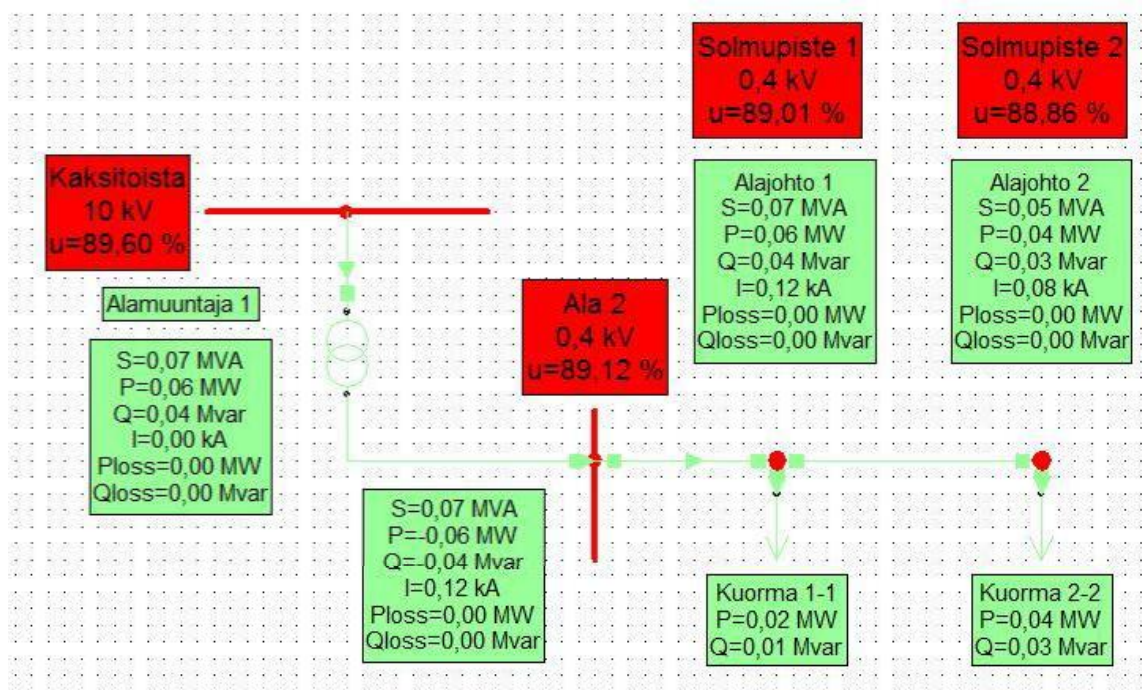
Tahtikoneiden, muuntajien ja epätahtikoneiden tarvittavat parametrit sähköverkköjärjestelmän mallikuvaan.

Nodes (Solmupisteet)							
Nimi	Node type	Un kV	Taajuus Hz	Umin %	Umax %	Ir A	Ipmax kA
Yksi	Busbar (kisko)	110	50	0	0	0	0
Kaksi	Busbar (kisko)	20	50	0	0	0	0
Kolme	Busbar (kisko)	20	50	0	0	0	0
Neljä	Busbar (kisko)	20	50	0	0	0	0
Viisi	Busbar (kisko)	20	50	0	0	0	0
Kuusi	Busbar (kisko)	20	50	0	0	0	0
Seitsemän	Busbar (kisko)	20	50	0	0	0	0
Kahdeksan	Busbar (kisko)	20	50	0	0	0	0
Yhdeksän	Busbar (kisko)	20	50	0	0	0	0
Kymmenen	Busbar (kisko)	0,4	50	0	0	0	0
Yksitoista	Busbar (kisko)	0,4	50	0	0	0	0
Kaksitoista	Busbar (kisko)	10	50	0	0	0	0

Solmupisteiden tarvittavat parametrit sähköverkköjärjestelmän mallikuvaan.







Mallikuva alaverkosta Neplan-ohjelmassa.

Lines (Johdot)												
Nimi	Length km	Number of lines	Units	R(1) Ohm/..	X(1) Ohm/..	C(1) uF/..	G(1) uS/..	R(0) Ohm/..	X(0) Ohm/..	C(0) uF/..	Ir max (low) A	Ir max (high) A
Alajohto 1	0,02	1	Ohm/km	0,0754	0,072	0	0	0,308	0,119	0	0	470
Alajohto 2	0,03	1	Ohm/km	0,124	0,072	0	0	0,508	0,0115	0	0	360
Loads (Kuormat)												
Nimi	LF-type	P kW	Q kvar	Domestic Units	Units							
Kuorma 1-1	PQ	20	10	0	LV							
Kuorma 2-2	PQ	40	30	0	LV							
Transformers (Muuntajat)												
Nimi	From Node	To Node	Vector Group	Unit Trasf.	Comp. Winding	Sr MVA	Ur1 kV	Ur2 kV	ukr(1) %	uRr(1) %	ukr(0) %	uRr(0) %
Alamuuntaja 1	Kaksitoista	Ala 2	Dyn11	0	0	0,63	10	0,4	5,24	1,12	5,24	1,12
Nodes (Solmupisteet)												
Nimi	Node type	Un kV	Taajuus Hz	Umin %	Umax %	Ir A	Ipmax kA					
Solmupiste 1	Sleeve (liitin)	110	50	0	0	0	0					
Solmupiste 2	Sleeve (liitin)	20	50	0	0	0	0					
Ala 2	Busbar (kisko)	0,4	50	0	0	0	0					

Kuva alaverkon elementtien tarvittavista parametreista Neplan-ohjelmassa.

ID	Node name	Element name	Type	P MW	Q Mvar	I kA	Angle °	Loadin %	P Loss MW	Q Loss Mvar	P Fe MW	Q Com Mvar	Tap	Sens. Xeer %Ohm	On
1	1468 Ala 1	Alojhto Line		0.06	0.04	0.117	-40.3	24.91	0.0001	0.0001	0	0		0.00000	ON
2	1435 Ala 1	Alamuunt 2W Transfor		-0.06	-0.04	0.117	139.7	0	0.0001	0.0005	0.000	0	0	0.00000	ON
3	1086 Kahdeksa JOHTO 8 Line			-2.149	-0.242	0.064	172.8	31.99	0.0262	0.0728	0	0	0	0.00000	ON
4	1091 Kahdeksa JOHTO 4 Line			-4.597	-1.407	0.142	162.2	142.22	0.0607	0.0476	0	0	0	0.00000	ON
5	1151 Kahdeksa JOHTO 3 Line			-0.315	-4.306	0.128	93.4	170.31	0.0024	0.0019	0	0	0	0.00000	ON
6	1134 Kahdeksa TRANS 8 2W Transfor			5.06	1.045	0.067	-28.4	0	0	0.0446	0.000	0	0	0.00000	ON
7	1148 Kahdeksa TRANS 8 2W Transfor			5.06	4.911	0.209	-44.9	0	0	0.8704	0.000	0	0	0.00000	ON
8	1021 Kaksi JOHTO 5 Line			-1.793	0.429	0.053	-166.7	26.72	0.0061	0.019	0	0	0	0.00000	ON
9	1009 Kaksi TRANS 1 2W Transfor			-7.208	-9.592	0.348	126.7	0	0	0.0653	0.000	0	0	0.00000	ON
10	1086 Kaksi JOHTO X Line			1.186	0.018	0.034	-1	38.21	0.0061	0.0012	0	0	0	0.00000	ON
11	1081 Kaksi JOHTO 2 Line			3.489	1.46	0.11	-22.9	109.65	0.0115	0.0215	0	0	0	0.00000	ON
12	1076 Kaksi JOHTO 2 Line			4.326	7.685	0.256	-60.8	255.7	0.0005	0.0149	0	0	0	0.00000	ON
13	1148 Kakstoist TRANS 8 2W Transfor			-5.06	-4.041	0.417	135.1	0	0	0.8704	0.000	0	0	0.00000	ON
14	1197 Kakstoist V2 Load			5	4	0.413	-45								ON
15	1435 Kakstoist Alamuunt 2W Transfor			0.06	0.041	0.005	-40.3	0	0.0001	0.0005	0.000	0	0	0.00000	ON
16	1151 Kolme JOHTO 3 Line			0.317	4.308	0.128	-86.6	170.31	0.0024	0.0019	0	0	0	0.00000	ON
17	1076 Kolme JOHTO 2 Line			-4.326	-7.491	0.256	119.2	255.77	0.0005	0.0149	0	0	0	0.00000	ON
18	1071 Kolme JOHTO 3 Line			4.008	3.182	0.151	-39.3	252.23	0.0082	0.0164	0	0	0	0.00000	ON
19	1101 Kuusi JOHTO 5 Line			1.813	-0.381	0.054	13.9	28.2	0.0144	0.0289	0	0	0	0.00000	ON
20	1273 Kuusi GEN 1 Synchronous			-8	-2	0.238	168								ON
21	1061 Kuusi JOHTO 7 Line			6.187	2.381	0.192	-19	47.93	0.0117	0.0658	0	0	0	0.00000	ON
22	1120 Kymmene TRANS 9 2W Transfor			-4	-3	7.568	140.7	0	0	0.1661	0.000	0	0	0.00000	ON
23	1183 Kymmene M1 5.2 Asynchronous			4	3	7.568	-39.3								ON
24	1091 Neija JOHTO 4 Line			4.657	1.455	0.142	-17.8	142.2	0.0607	0.0476	0	0	0	0.00000	ON
25	1086 Neija JOHTO X Line			-1.18	-0.017	0.034	178.8	38.21	0.0061	0.0012	0	0	0	0.00000	ON
26	1081 Neija JOHTO 2 Line			-3.477	-1.438	0.11	157.1	109.67	0.0115	0.0215	0	0	0	0.00000	ON
27	1096 Seitsemän JOHTO 8 Line			2.175	0.315	0.064	-6.7	31.95	0.0262	0.0728	0	0	0	0.00000	ON
28	1202 Seitsemän V1 Load			4	2	0.13	-25								ON
29	1061 Seitsemän JOHTO 7 Line			-6.175	-2.315	0.192	161	47.93	0.0117	0.0658	0	0	0	0.00000	ON
30	1444 Soimupist Kuorma 1 Load			0.02	0.01	0.036	-33.2								ON
31	1468 Soimupist Alojhto Line			-0.06	-0.04	0.117	139.7	24.91	0.0001	0.0001	0	0	0	0.00000	ON
32	1473 Soimupist Alojhto Line			0.04	0.03	0.081	-43.5	22.56	0.0001	0	0	0	0	0.00000	ON
33	1450 Soimupist Kuorma 2 Load			0.04	0.03	0.081	-43.5								ON
34	1473 Soimupist Alojhto Line			-0.04	-0.03	0.081	136.5	22.56	0.0001	0	0	0	0	0.00000	ON
35	1101 Visi JOHTO 5 Line			-1.799	0.41	0.054	-166.5	28.16	0.0144	0.0289	0	0	0	0.00000	ON
36	1021 Visi JOHTO 5 Line			1.799	-0.41	0.054	13.5	26.75	0.0061	0.019	0	0	0	0.00000	ON
37	1120 Yhteiskän TRANS 9 2W Transfor			4	3.166	0.151	-39.3	0	0	0.1661	0.000	0	0	0.00000	ON
38	1071 Yhteiskän JOHTO 3 Line			-4	-3.166	0.151	140.7	252.25	0.0082	0.0164	0	0	0	0.00000	ON
39	1009 Yksi TRANS 1 2W Transfor			7.208	9.657	0.063	-53.3	0	0	0.0653	0.000	0	0	0.00000	ON
40	988 Yksi NET Network Feed			-7.208	-9.657	0.063	126.7								ON
41	1134 Yksitoista TRANS 8 2W Transfor			-2	-1	3.338	151.6	0	0	0.0446	0.000	0	0	0.00000	ON
42	1191 Yksitoista M2 5.2 Asynchronous			2	1	3.338	-28.4								ON

State

Summary...

Node results...

Element results...

Detailed element results...

All results...

Sensitivities...

Result files

E-xport to file... [Format 4.x]

Import from file...

Display options

kV  kA  MVA

V  A  kVA

Select nodes / elements:

All  Elements Only once in list

Select Un...

Close

Mallikuva tehonjaon tuloksista sähköverkkojärjestelmässä taulukoituna ohjelman sisäisesti.