

Jarkko Heikonen

VERKOSTOLASKELMIEN RAPORTTIPOHJIEN LAATIMINEN

Sähkötekniikan koulutusohjelma

2014

VERKOSTOLASKEMIEN RAPORTTIPOHJIEN LAATIMINEN

Heikonen, Jarkko
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Huhtikuu 2014
Ohjaaja: Pulkkinen, Petteri
Sivumäärä: 18
Liitteitä: 85

Asiasanat: verkostolaskelmat, raportointi

Opinnäytetyön tehtävänä oli laatia eri verkostolaskelmille raporttipohjat, sekä esimerkkiraportit. Käsiteltävinä asioina oli yleiset sähkösuunnittelussa huomioitavat laskennat ja tarkastelut. Työn tavoitteena oli laatia eri laskennoista ulkoasultaan yhtenäiset raporttipohjat, joita käyttämällä saadaan eri suunnittelijoiden tekemät laskennat sekä tarkastelut aseteluiltaan keskenään yhtenäisiksi.

Ennen työn aloittamista käytiin yleisesti läpi raporttipohjien aiheet. Samalla määriteltiin raporttipohjien yleinen ulkoasu, sekä käytiin läpi yleiset ohjeet. Raporttipohjien lisäksi laadittiin pohjiin perustuvat esimerkkiraportit. Esimerkkiraportit toimivat ohjeina, joista nähdään kuinka raporttipohjat tulee täyttää ja mitkä asiat kirjataan lopputuloksiin ym.

Opinnäytetyön liitteiksi lisättiin jokaisen tarkastelun raporttipohja, sekä esimerkkiraportti. Salassapitosopimuksen takia raporttipohjien ja esimerkkiraporttien liitteet ovat salattuja.

ELECTRICAL CALCULATIONS REPORT TEMPLATES

Heikonen, Jarkko

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical engineering

April 2014

Supervisor: Pulkkinen, Petteri

Number of pages: 18

Appendices: 85

Keywords: electrical network calculation, report

The purpose of this bachelor thesis was to design and create report templates for various electrical calculations. Reports of commonly used calculations and inspections were made. The goal of the final reports was to achieve a general template which would unify different types of reports to a similar and uniform style.

At the beginning of the thesis work there was a set of ground rules that were agreed upon, including the basic layout and general guidelines.

A set of report templates and example reports were accomplished during the thesis period. The example reports worked as instructions on how the templates are to be filled and used.

All of the template and example reports were attached to this thesis. Due to non-disclosure agreement the templates and example reports are hidden.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	SELEKTIIVISYYSTARKASTELU.....	5
2.1	Raporttipohja.....	6
2.2	Esimerkkiraportti	6
3	KAAPELIMITOITUSLASKELMAT.....	7
3.1	Raporttipohja.....	7
3.2	Esimerkkiraportti	8
4	KOMPENSOINNIN TARVELASKELMAT	9
4.1	Raporttipohja.....	10
4.2	Esimerkkiraportti	10
5	ENINTÄÄN 1000 VOLTIN KESKUSTEN MITOITUSLASKELMAT.....	11
5.1	Raporttipohja.....	12
5.2	Esimerkkiraportti	13
6	MOOTTOREIDEN KÄYNNISTYSLASKELMAT	14
6.1	Raporttipohja.....	14
6.2	Esimerkkiraportti	16
7	YHTEENVETO	17
	LÄHTEET.....	18
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia yhtenäiset raporttipohjat eri verkostolaskelmista Neste Jacobsin käyttöön. Raporttipohjien lisäksi laadittiin raporttipohjiin perustuvat esimerkkiraportit. Esimerkkiraportit toimivat ohjeina, mistä selviää miten raporttipohjat täytetään. Raporttipohjien tarkoituksena on yhtenäistää eri suunnittelijoiden tekemät laskelmat ja tarkastelut mahdollisimman yhdenmukaisiksi.

Työssä käsiteltiin yleisiä sähkösuunnittelussa vastaantulevia laskentoja ja tarkasteluja. Raporttipohjat laadittiin kaapelimitoituskalkelmista, keskusten mitoitus- ja suojauskalkelmista, selektiivisyys tarkastelusta, kompensoinnin tarvelaskelmista sekä moottoreiden käynnistyslaskelmista. Raporttipohjien ja esimerkkiraporttien lisäksi tehtiin laskentataulukko muuntajassa tapahtuvien jännitteenalennemien selvittämiseksi.

Opinnäytetyössä kerron lyhyesti kunkin raporttipohjan ja esimerkkiraportin peruseriaatteista ja sisällöstä. Raporttipohjat sekä esimerkkiraportit ovat salassapitosopimuksen takia salattuja.

2 SELEKTIIVISYYSTARKASTELU

Suunnitteluvaiheessa tehtävä selektiivisyystarkastelu on paras keino varmistaa, että verkon suojalaitteet toimivat ”oikeassa” järjestyksessä. Eli varmistetaan että suojalaitteet toimivat keskenään selektiivisesti. Selektiivisyystarkastelulla varmistetaan, että vain lähinnä vikapaikkaa oleva suojalaite toimii. Näin vian aiheutuessa, mahdollisimman pieni osa verkosta tulee jännitteettömäksi.

Eri suojalaitteiden keskinäistä selektiivisyyttä voidaan tarkastella ns. virta-aikakäyrästä. Käyrästä lisätään peräkkäisten suojalaitteiden toiminta-aikakäyrät. Näitä keskenään vertailemalla nähdään, toimiiko tarkasteltavan verkon suojaus selektiivisesti. Selektiivisyystarkastelulla varmistetaan vähintään, että pääkatkaisija ja sen

jälkeinen suurin suojalaite toimivat keskenään selektiivisesti. Raporttipohjassa, sekä esimerkkiraportissa on lähteenä käytetty ST-kortistoa (ST 53.13).

2.1 Raporttipohja

Selektiivisyystarkastelun raporttipohjassa käsitellään erityyppisten verkkojen selektiivisyyttä. Raporttipohjassa käsitellään normaalin verkon lisäksi myös UPS-jakelun, sekä varavoimajakelun selektiivisyystarkastelut.

Raporttipohjan alkuun kerätään selektiivisyystarkastelun kannalta oleellisia tietoja. Lähtötiedoiksi kirjataan sähkölaitoksen johtolähtökatkaisijoiden asetteluarvot, verkon suurimpien pistekuormien tiedot ja pääkeskuksen oikosulkusuojien sekä suojalaitteiden asetteluarvot. Varavoima- ja UPS-jakelun selektiivisyyttä tarkasteltaessa tarvitaan myös varavoimakoneen tekniset tiedot, UPS-akuston tekniset tiedot sekä niitä syöttävien keskusten suojalaitteiden tyypit ja niiden asettelut.

Selektiivisyystarkastelun raporttipohjalla on tarkoitus varmistaa toteutuuko tietyn verkonosan suojaus selektiivisesti. Tarkastelusta tehtävään raporttiin lisätään lähtötietojen ja suojalaitteiden asetteluarvojen lisäksi suojalaitteiden virta-aikakäyrät, sekä tarkasteltavan verkon pääkaavio. Virta-aikakäyrästä tarkastelemalla varmistetaan, että toimiiko tarkasteltavan verkon suojalaitteet keskenään selektiivisesti.

Lopputuloksiin kirjataan verkon suojalaitteiden selektiivisyys tai mahdollinen epäselektiivisyys. Lisäksi varmistetaan, ettei verkossa tapahdu tarpeettomia laukaisuja esimerkiksi moottorin käynnistyessä. Raporttipohja on lisätty opinnäytetyön liitteeksi 1.

2.2 Esimerkkiraportti

Selektiivisyystarkastelun esimerkkiraportissa tarkastellaan 230kW:n moottorin suojauksen selektiivisyyttä. Raportin lähtötiedoiksi kerättiin moottorin kilpiarvot ja moottorin suojalaitteiden tyypit sekä niiden asetteluarvot. Moottoria syöttävän kaape-

lin suojalaitteena toimii aM-tyyppin kahvasulake. Muuntajaa edeltävänä, sekä muuntajan jälkeisenä suojalaitteena käytetään Merlin gerinin katkaisijoita.

Edellä mainitut suojalaitteet lisättiin virta-aikakäyrästään, jonka avulla todettiin suojauksen selektiivinen toiminta. Selektiivisyyden lisäksi varmistettiin myös, ettei moottorin käynnistysvirta aiheuta verkon suojalaitteiden tahatonta laukaisua.

Loppupäätelmiin kirjattiin edellä mainitut tulokset, sekä lisättiin liitteiksi suojalaitteiden virta-aikakäyrästä, suojalaitteiden asetteluarvot ja tarkasteltavan verkon pääkaavio. Esimerkkiraportti on lisätty opinnäytetyön liitteeksi 2.

3 KAAPELIMITOITUSLASKELMAT

Kaapelimitoituslaskelmissa käsitellään kaapelien valintaan liittyviä seikkoja. Kaapeleita valittaessa, on kuormitettavuuden lisäksi laskettava siinä syntyvät jännitehäviöt, sekä kaapelien maksimi pituudet. Kaapeleiden kuormitettavuuteen vaikuttaa poikkipinta-alan lisäksi eri korjauskertoimet. Kertoimien suuruus määräytyy kaapeleiden asennustavasta, sekä vallitsevista asennusolosuhteista. Kaapelien todellisen kuormitettavuuden selvittämiseen käytetään SFS 6000-standardia.

Kaapeleiden suurimmat sallitut pituudet selvitetään kahdella eri kriteerillä. Ensin lasketaan kaapelin suurin sallittu pituus syötön automaattisen poiskytkennän toteuttamiseksi. Toisella laskennalla tarkastellaan kaapelin jännitehäviön mukaista rajapitua. Kaapelimitoituslaskelmilla siis varmistetaan kaapeleiden soveltuvuus valittuun verkkoon. Raporttipohjassa, sekä esimerkkiraportissa on käytetty lähteenä SFS 6000-standardia (SFS 6000-5-52).

3.1 Raporttipohja

Kaapelimitoituslaskelmien raporttipohjassa käydään läpi laskentaperiaatteet kaapelin todellisen kuormitettavuuden, sekä kaapelin maksimi pituuden määrittämiseksi. Todellisen kuormitettavuuden laskennassa huomioidaan kaapelin asennusolosuhteet,

sekä niistä aiheutuvat korjauskertoimet. Eri asennustapojen ja olosuhteiden korjauskertoimet löytyvät SFS-6000 standardista.

Lisäksi raporttipohjassa lasketaan kaapeleiden suurimmat sallitut pituudet. Kaapeleiden maksimi pituudet lasketaan sekä syötön automaattisen poiskytkennän toteuttamiseksi, että suurimman sallitun jännitehäviön mukaisesti. Kaapelin suurin sallittu pituus syötön automaattisen poiskytkennän toteuttamiseksi määräytyy kaapelin suojalaitteen mukaan. Lisäksi SFS 6000 on määritelty tietyille kaapeleille suurimmat sallitut poiskytkentäajat. Kun suojalaitteen tyyppi, sekä sen suurin sallittu poiskytkentäaika ovat tiedossa, voidaan suojalaitteen virta-aikakäyrästä katsoa sen toimintaan vaaditussa ajassa tarvittava oikosulkuvirta. Tämän oikosulkuvirran avulla voidaan laskea kaapelin suurin sallittu pituus.

Seuraavaksi tarkastellaan kaapelissa syntyvää jännitteenalenemaa. Kaapelin suurin sallittu pituus jännitteenaleneman kannalta määräytyy kaapelin tyyppin mukaan. Laskennalla varmistetaan, ettei suurin sallittu jännitteenalenema pääse ylittymään.

Lopuksi laskennan tuloksiin kirjataan valitun kaapelin tyyppi, kaapelin suojalaitteen tyyppi, kaapelin todellinen kuormitettavuus sekä kaapelin suurin sallittu pituus ja siinä syntyvä jännitehäviö. Loppupäätelmiin kirjataan vielä sopiiko valittu kaapeli tarkasteltavan kuorman syöttökaapeliksi. Raporttipohja on lisätty opinnäytetyön liitteeksi 3.

3.2 Esimerkkiraportti

Esimerkkiraportissa valittiin 230kW:n moottorille syöttökaapeli. Esimerkin kaapeli kulkee kaapelihyllyllä, sekä maassa. Moottorin suojalaitteeksi valittiin ABB:n kontaktori ja lämpörele. Oikosulkuvirtaa rajoittavaksi suojaksi valittiin kytkinvaroke, jossa on 500A aM kahvasulakkeet.

Laskennallisessa osuudessa tarkasteltiin kaapelin todellista kuormitettavuutta SFS 6000 standardin mukaan. Kuormitettavuuden laskennassa huomioitiin kaapelin asennustavasta, sekä ympäristön lämpötilasta johtuvat korjauskertoimet.

Kuormitettavuuden lisäksi raportissa lasketaan kaapelin suurimmat sallitut pituudet. Ensin laskettiin kaapelin maksimi pituus syötön automaattisen poiskytkennän toteuttamiseksi. Tässä laskussa käytettiin aM 500A:n kahvasulakkeen toimintaan 5 sekunnissa vaadittavaa oikosulkuvirtaa. Oikosulkuvirta katsottiin ABB:n aM tyyppisten kahvasulakkeiden virta-aikakäyrästä.

Seuraavaksi laskettiin kaapelin jännitteenaleneman mukainen rajapituus. Kaapelille määritetty suurin sallittu jännitteenalenema oli esimerkin tapauksessa 3%.

Esimerkkiraportin lopputuloksiin kirjattiin valitun kaapelityypin lisäksi kaapelin suojalaitteen tyyppi, kaapelin todellinen kuormitettavuus, kaapelin suurimmat sallitut pituudet sekä kaapelissa syntyvä jännitteenalenema. Loppupäätelmiin kirjattiin valitut suojalaitteet sekä niiden asetteluarvot. Lisäksi todettiin, ettei oikosulkusuoja laukea moottorin käynnistyksestä syntyvästä virtapiikistä. Liitteiksi lisättiin kahvasulakkeen virta-aikakäyrä, sekä kaapelin tekniset tiedot. Esimerkkiraportti on lisätty opinnäytetyön liitteeksi 4.

4 KOMPENSOINNIN TARVELASKELMAT

Tietyt sähkölaitteet tarvitsevat toimiakseen pätötehon lisäksi myös loistehoa. Loistehoa tarvitsevia laitteita ovat tyypillisesti moottorit ja muuntajat. Nämä laitteet nostavat loistehon tarvetta. Tämä taas korottaa niiden virtarasituksia ja aiheuttaa muita haittoja, esimerkiksi lämpenemistä.

Kuorman tarvitseva loisteho voidaan myös tuottaa ns. kompensointiparistolla. Tällöin ei tarvitse ottaa loistehoa suoraan verkosta, vaan jäljelle jääneellä kapasiteetilla voidaan nostaa pätötehon määrää.

Kompensoinnin tarvelaskelmat raportissa keskityttiin loistehon kompensointitarpeen laskemiseen laitekohtaisesti, sekä kuormitusryhmittäin. Lopputuloksiin kirjattiin myös kompensointiin sopivien kompensointiparistojen kokoluokat. Raporttipohjassa, sekä esimerkkiraportissa käytettiin lähteenä ST-kortistoa (ST 52.15, ST 52.16).

4.1 Raporttipohja

Raporttipohjassa käsitellään kompensointitarpeen eri laskentatapoja. Kompensointitarve voidaan laskea joko laitekohtaisesti, tai kuormitusryhmittäin. Laitekohtainen kompensointitarve voidaan määrittää esimerkiksi yksittäiselle sähkömoottorille.

Raporttipohjassa on kaksi eri vaihtoehtoa laitekohtaisen kompensointitarpeen määrittämiseksi. Kompensointitarve voidaan joko laskea, tai jos tarkasteltavana kuormana on moottori, voidaan kompensointitarve katsoa raporttipohjan taulukosta 1. Taulukossa olevaa arvoa tulee käyttää vain jos moottorin tarkempia tietoja ei ole saatavilla.

Toinen käsiteltävä asia on kompensointitarpeen laskenta kuormitusryhmittäin. Lähtötiedoiksi tässä laskennassa tarvitaan kuormia syöttävän keskuksen virta, jännite ja arvioitu kuormitusjakautuma. Kuormitusjakautumana käytetään prosentuaalista arviota siitä, miten sähkönkulutus jakautuu eri kuormien kesken. Kuormitusjakautumalla saadaan arvioitua kunkin kuorman virran kulutus. Tätä virta-arvoa käytetään laskettaessa eri kuormien näennäis- ja pätötehot. Kuorman tarvitseman loistehon laskemiseen tarvitaan myös ns. kompensointi kerroin. Kompensointikerroimen suuruus määräytyy nykyisen tehokulman ja halutun tehokulman suhteesta. Kun nämä tehokulmat tiedetään, voidaan raporttipohjasta löytyvästä taulukosta (taulukko 2) katsoa tarvittava kompensointikerroin. Tarvittavan loistehon selvittämiseen vaikuttaa siis kuormitusjakautuma ja kompensointikerroin. Näiden tietojen avulla voidaan laskea loistehon tarve kuormitusryhmittäin.

Lopputuloksiin kirjataan eri kuormien loistehon kokonaistarve, sekä mahdollinen laitekohtainen loistehon tarve. Lisäksi valitaan kuormitusryhmille ja laitekohtaiseen kompensointiin sopivat kompensointiparistot. Raporttipohja on lisätty opinnäytetyön liitteeksi 5.

4.2 Esimerkkiraportti

Esimerkkiraportissa selvitettiin yksittäisen 3-vaiheisen oikosulkumoottorin, sekä valaistus että moottoriryhmien kompensointitarpeet. Laitekohtainen kompensointitarve

selvitettiin ABB:n valmistamasta 160kW:n oikosulkumoottorista. Tämän moottorin kohdalla selvitettiin kuinka suuri kompensointitarve on, jos tehokulma nostetaan välillä 0,85 - 0,98.

Lisäksi raportissa laskettiin kompensointitarve kuormitusryhmittäin. Kuormitusryhmiä oli kaksi, moottori- ja valaistuskuorma. Kuormitus jakautui arvion mukaan seuraavasti. Moottorikuorman osuus kokonaiskuormituksesta oli 80% ja valaistuskuorman 20%. Moottorikuorman kompensointitarve laskettiin, kun tehokulmaa haluttiin nostaa välillä 0,75 – 0,98. Valaistuskuorman tehokulma nostettiin välillä 0,5 – 0,98. Lopuksi molempien kuormien loistehon kokonaistarve laskettiin yhteen.

Lopputuloksiin kirjattiin valaistus- ja moottorikuormien loistehon kokonaistarve, sekä valittiin kuormille sopiva kompensointiparisto. Tuloksiin kirjattiin myös 160kW:n moottorin laitekohtaisen kompensoinnin tarve sekä siihen soveltuva kompensointiparisto. Esimerkkiraportti on lisätty opinnäytetyön liitteeksi 6.

5 ENINTÄÄN 1000 VOLTIN KESKUSTEN MITOITUSLASKELMAT

Sähkökeskuksen mitoituslaskelmissa käsitellään keskuksen syöttökaapelin valintaan liittyviä asioita. Lisäksi selvitetään keskuksen maksimi oikosulkuvirta-arvot.

Syöttökaapelia valittaessa on varmistettava, ettei kaapelissa aiheutuva jännitteenalenema kasva liian suureksi. Jännitteenalenemaan vaikuttaa kaapelin koon lisäksi mm. kaapelin pituus, resistanssi ja reaktanssi sekä kaapelin kuormitus.

Jännitteenaleneman lisäksi varmistetaan, ettei kaapelin suurinta sallittua kuormitusta ylitetä. Kaapelin suurin sallittu kuormitettavuus selvitetään SFS-600 standardin avulla.

Kaapelin suojalaitteen valintaan on myös kiinnitettävä huomiota. Suojalaitteelle lasketaan maksimi toiminta-aika. Tätä toiminta-aikaa ei saa ylittää, jottei kaapelin suurin sallittu lämpötila ylitä.

Kaapelin mitoituksen lisäksi tarkastellaan keskusten maksimi oikosulkuvirtoja. Keskusten termisen ja dynaamisen kestoisuuden kannalta pahin oikosulkutilanne on kolmivaiheinen oikosulku. Keskusten oikosulkuvirrat lasketaan IEC 60909 standardin mukaan. Lähteinä raporttipohjassa sekä esimerkkiraportissa on käytetty SFS 600 standardia (SFS 6000-4-41, SFS 6000-5-52) sekä DI-2009 käsikirjaa (DI-2009 s.143).

5.1 Raporttipohja

Raporttipohjassa käydään läpi keskusten mitoituslaskelmien laskentaperiaatteet. Keskuksen syöttökaapelin mitoituslaskelmien lisäksi raporttiin kirjataan keskuksen maksimi oikosulkuvirrat.

Kaapelin mitoitus aloitetaan laskemalla keskusta syöttävän kaapelin aiheuttama jännitteenalenema. Jännitteenaleneman selvittämiseksi on aluksi kerättävä muutamia lähtötietoja. Oleellisia lähtötietoja ovat kaapelin koko ja pituus, kuormituksen suuruus, kaapelin resistanssi ja reaktanssi, sekä kaapelilla syötettävän keskuksen tehokulma ja jännite. Jännitteenaleneman laskennalla voidaan varmistaa, ettei suurin sallittu jännitteenalenema prosentti ylity.

Jännitteenaleneman selvittämisen jälkeen lasketaan kaapelia suojaavan sulakkeen 1 sekunnin oikosulkuvirta-arvo. Vertaamalla tulosta kaapelin teknisiin tietoihin, varmistetaan kaapelin kestävyys oikosulku tilanteessa.

Lisäksi selvitetään kaapelin suurin sallittu kuormitettavuus. Eri kaapeleiden kuormitettavuudet sekä kaapelin asennustavasta ja olosuhteista muodostuvat korjauskertoi-
met, löytyvät SFS 6000-5-52 standardista. Keskuksen syöttökaapelin suurinta sallittua kuormitusta verrataan keskuksen maksimi kuormitukseen. Syöttökaapelin suurimman sallitun kuormituksen tulisi olla suurempi kuin keskuksen maksimi kuormituksen. Tällöin kaapeli soveltuu kuormitettavuudeltaan keskuksen syöttökaapeliksi.

Lopuksi laskennan tulokset kirjataan raporttipohjan lopussa olevaan taulukkoon. Taulukkoon merkitään kaapelin jännitteenaleneman lisäksi, kaapelia suojaavan sulakkeen maksimi koko sekä kaapelin kuormitettavuus.

Raportin lopussa on myös taulukko keskuksen tiedoille ja oikosulkuvirroille. Oikosulkuvirrat lasketaan NEPLAN-ohjelmaa käyttäen. Laskut suoritetaan IEC 60909 standardin mukaisesti. Raporttipohja on lisätty opinnäytetyön liitteeksi 7.

5.2 Esimerkkiraportti

Esimerkkiraportissa varmistettiin nimellisvirraltaan 800A keskuksen syöttökaapelin sopivuus. Kaapelin tarkastelu aloitettiin laskemalla kaapelin aiheuttama jännitteenalenema. Jännitealenema prosentti ei esimerkin tapauksessa saanut ylittää 5%.

Keskuksen syöttökaapelina on 190 metriä pitkä, 2x AMCMK 4x300/88 alumiinikaapeli. Kaapeli kulki vapaasti ilmassa. Näillä tiedolla selvitettiin kaapelin korjauskerroin SFS 600-standardin mukaan. Kaapelin korjauskertoimen avulla selvitettiin kaapelin suurin sallittu kuormitettavuus ja verrattiin tätä arvoa keskuksen kuormitukseen. Lisäksi varmistettiin DI-käsikirjan avulla, että kaapelin kuormitettavuus on riittävän suuri kaapelin ylikuormitussuojan nimellisvirtaan nähden.

Seuraavaksi laskettiin kaapelin suojalaitteen maksimi toiminta-aika. Tällä varmistetaan, ettei kaapeli lämpene liikaa.

Edellä mainittujen tarkastelujen ja laskelmien jälkeen tulokset kirjattiin raportin lopussa olevaan taulukkoon. Lopputuloksiin lisättiin vielä keskuksen oikosulkuvirrat sekä keskusta suojaavan etukojeen tyyppi. Loppupäätelmissä todettiin kaapelin soveltuvuus tarkasteltavana olevan keskuksen syöttökaapeliksi, sekä mainittiin kaapelia suojaavan suojareleen maksimi toiminta-aika oikosulkutilanteessa. Esimerkkiraportti on lisätty opinnäytetyön liitteeksi 8.

6 MOOTTOREIDEN KÄYNNISTYSLASKELMAT

Moottoreiden käynnistyslaskelmissa perehdytään sähkömoottorin käynnistyksestä syntyvään käynnistysvirtaan ja siitä aiheutuvaan jännitteenalenemaan.

Sähkömoottori ottaa käynnistyessään moninkertaisen virran, verrattuna moottorin peruskuormituksella ottamaan virtaan. Virran kasvaessa, myös moottorin aiheuttama jännitteenalenema kasvaa. Käynnistyslaskemilla onkin varmistettava, ettei jännitteenalenema moottorin käynnistyshetkellä kasva liian suureksi.

Myös moottoria syöttävässä kaapelissa syntyvä jännitteenalenema kasvaa moottorin käynnistyshetkellä. Kaapelissa syntyvän jännitteenaleneman suuruuteen vaikuttaa siinä kulkevan virran lisäksi myös, mm. kaapelin pituus ja siihen vaikuttava jännite.

Moottoreiden käynnistyslaskelmissa tarkastellaan myös muuntajien verkkoon kytkennästä aiheutuvia ilmiöitä. Näistä tarkastellaan etenkin muuntajan kytkentävirtasäystä. Muuntajan kytkentävirtasäys voi olla jopa 500-kertainen verrattuna sen tyhjäkäyntivirtaan (Kari Huotari ja Jarmo Partanen). Tämä pitää huomioida muuntajan suojalaitetta valittaessa. Suojalaite on valittava tai aseteltava siten, ettei se laukea muuntajan verkkoon kytkennän yhteydessä.

Raporttipohjassa, sekä esimerkkiraportissa on käytetty lähteinä ABB:n TTT 2000 käsikirjaa ja Kari Huotarin ja Jarmo Partasen opetusmonistetta ”Teollisuusverkkojen oikosulkuvirtojen laskeminen”.

6.1 Raporttipohja

Moottoreiden käynnistyslaskelmien raporttipohjassa käydään läpi sähkömoottoreiden käynnistysvirran-, sekä siitä aiheutuvan jännitteenaleneman laskennat. Raporttipohjassa käydään läpi myös muuntajan kytkentävirtasäys.

Moottorin käynnistysvirran selvittäminen aloitetaan laskemalla tarkasteltavan moottorin hyötysuhde sekä sen käyvä teho. Moottorin hyötusuhde saadaan selvitettyä vertaamalla moottorin nimellistehoa sen liitäntätehoon. Moottorin käyvää tehoa lasket-

taessa on huomioitava mahdollinen tasoituskerroin. Moottorikuormien tasoituskerroimeen vaikuttaa esimerkiksi se, että käytetäänkö moottoreita samanaikaisesti vai vuorotellusti. Moottorin käyvä teho määräytyy liitäntätehon ja tasoituskertoimen mukaan.

Moottorin käyvän tehon laskennan jälkeen selvitetään moottorin nimellisvirta. Nimellisvirran avulla saadaan helposti laskettua moottorin käynnistysvirran suuruus. Moottorin käynnistysvirta on noin 5-7 kertainen sen nimellisvirtaan nähden (ABB TTT 2000-07 s.6).

Käynnistys- ja nimellisvirran avulla voidaan laskea moottorin muuntajalle aiheuttama jännitteenalenema moottorin peruskuormituksella sekä käynnistyshetkellä. Jännitteenaleneman laskentaan tarvitaan myös lähtötiedoiksi moottoria syöttävän muuntajan resistanssi, sekä reaktanssi. Nämä arvot löytyvät muuntajan teknisistä tiedoista. Kun tarvittavat lähtötiedot ovat selvillä, voidaan jännitteenalenema laskea. Muuntajan jännitteenaleneman selvittämiseksi tehtiin laskennallisen osuuden lisäksi excel laskentataulukko. Taulukkoon syötetään valitun muuntajan perustiedot, sekä muuntajan kuormitusvirta. Näiden tietojen avulla ohjelma laskee automaattisesti muuntajassa syntyvän jännitteenaleneman. Raporttipohjan liitteisiin on lisätty kuvankaappaus laskentataulukosta.

Laskennallisessa osuudessa selvitetään myös moottorin syöttökaapelissa aiheutuva jännitteenalenema moottorin käynnistyshetkellä, sekä moottorin peruskuormituksella.

Moottorin käynnistysvirran ja siitä aiheutuvien jännitteenalenemien lisäksi raporttipohjassa käsitellään muuntajan kytkentävirtasysäys. Muuntajan verkkoon kytkennässä syntyvä kytkentävirtasysäys voi olla jopa 500-kertainen muuntajan tyhjäkäyntivirtaan nähden (Kari Huotari ja Jarmo Partanen). Raporttipohjassa on esitetty erikokoisten muuntajien kytkentävirtasysäykset. Muuntajan suojalaitteiden asetteluissa on huomioitava kytkentävirtasysäyksen suuruus. Tällöin vältytään suojalaitteiden tahattomilta laukaisuilta. Raporttipohjaan on kerätty erikokoisissa muuntajissa käytettävien suojalaitteiden tyypit ja niiden asetteluarvot.

Raporttipohjan lopputuloksiin kirjataan moottorin käynnistyksestä, sekä peruskuormituksesta aiheutuvat jännitteenalenemat. Raporttipohja on lisätty opinnäytetyön liitteeksi 9.

6.2 Esimerkkiraportti

Esimerkkiraportissa tarkasteltiin 230 kW:n pumppua. Raportissa selvitettiin pumpun peruskuormituksen sekä käynnistyksen aiheuttamat jännitteenalenemat. Jännitteenalenemien selvittämiseksi piti aluksi laskea pumpun hyötysuhde, sekä pumpun ottama käynnistysvirta. Pumpun sähkötekniset tiedot kerättiin esimerkkiraportin taulukkoon. Näiden tietojen avulla saadaan käynnistyksestä aiheutuvat jännitteenalenemat laskettua.

Ensin laskettiin pumpun käynnistyksestä muuntajalle aiheutuva jännitteenalenema. Muuntajan jännitteenaleneman laskennassa tarvitaan pumpun sähkötekniisten tietojen lisäksi muuntajan tekniset tiedot. Laskennoissa tarvitaan muuntajan reaktanssin sekä resistanssin arvot. Muuntajana toimi ABB:n 2000kVA öljyeristeinen jakelumuuntaja. Muuntajan sähkötekniset tiedot lisättiin myös esimerkkiraportin liitteisiin. Edellä mainittujen tietojen avulla saatiin laskettua pumpun käynnistyksestä, sekä peruskuormituksesta muuntajalle aiheutuva jännitteenalenema.

Lisäksi laskettiin pumpun syöttökaapelissa aiheutuva prosentuaalinen jännitteenalenema. Alenema laskettiin myös pumpun käynnistyshetkellä sekä peruskuormituksella. Moottorin syöttökaapelin tiedot kerättiin esimerkkiraporttiin. Valitun kaapelin pituus, sekä tekniset tiedot lisättiin raportin liitteisiin. Kaapelin teknisten tietojen avulla selvitettiin siinä aiheutuvat prosentuaaliset jännitteenalenemat.

Lopputuloksiin kirjattiin moottorin muuntajalle sekä moottorin syöttökaapelissa syntyvät jännitteenalenemat. Lisäksi liitteisiin lisättiin pumppua syöttävän verkon piirikaavio, sekä moottorin syöttökaapelin tekniset tiedot. Esimerkkiraportti on lisätty opinnäytetyön liitteeksi 10.

7 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli laatia yhtenäiset raporttipohjat suunnittelijoiden käyttöön. Raporttien ulkoasut ovat tyyliltään samanlaisia, joten laadittavat raportit noudattavat tiettyä kaavaa. Tämä auttaa laskentojen myöhempien tarkastelujen tekemistä, koska tarvittavat tiedot ja laskentatavat löytyvät eri raporttipohjissa samoista kohdista. Esimerkkiraportit toimivat ohjeina, joita selaamalla selviää oikea raporttien täyttötapa. Lisäksi esimerkkiraporteista nähdään mitkä tulokset kirjataan lopputuloksiin.

Opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin mielestäni hyvin. Raporttipohjat ovat yhtenäisiä, sekä tarvittavat laskelmat ja tarkastelut löytyvät helposti. Esimerkkiraportit täytettiin raporttipohjien perusteella. Esimerkkiraporttien laadinnassa todettiin raporttipohjien soveltuvuus todellisten kohteiden laskentoihin ja tarkasteluihin.

Opinnäytetyötä laatiessa olen oppinut yleisten verkostolaskelmien laskenta- ja raportointitavat. Lisäksi opinnäytetyö on opettanut itsenäistä työskentelyä, sekä aikataulutamista. Opinnäytetyön raporttipohjat, sekä esimerkkiraportit on tarkoitettu ottaa Neste Jacobsin suunnittelijoiden käyttöön.

LÄHTEET

SFS-käsikirja 600. Pienjännitesähköasennukset ja sähkötyöturvallisuus 2007. Suomen standardoimisliitto SFS. Helsinki:SFS

ST 53.13 Kiinteistön sähköverkon suojauksen selektiivisyys 2008. Sähkötieto ry. Espoo

ST 52.15 Loistehon kompensointi pienjänniteverkossa ($U_n < 1000 \text{ V}$) 2007. Sähkötieto ry. Espoo

ST 52.16 Kompensointi- ja yliaaltosuodatinlaitteet ja niiden sijoitus pienjänniteverkossa ($U_n < 1000 \text{ V}$) 2012. Sähkötieto ry. Espoo

ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. 2007 ABB oy.

Teollisuusverkkojen oikosulkuvirtojen laskeminen. Kari Huotari, Jarmo Partanen Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu 1998.

Liitetiedostot sisältävät luottamuksellista tietoa.