

Joonas Virtanen

Modulaarisen suunnittelun toteutus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinööriytyö

02.11.2017

Tekijä Otsikko	Joonas Virtanen Modulaarisen suunnittelun toteutus
Sivumäärä Aika	28 sivua + 1 liite 02.11.2017
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	rakennusten sähkö- ja tietotekniikka
Ohjaajat	lehtori Seppo Innanen sähkösuunnittelija (DI) Koffi Houanou
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli rakentaa modulaariset ja skaalautuvat suunnitelmat Nocart Oy:n voimalaitosratkaisuille. Työn tarkoituksena oli pohtia ja rakentaa suunnitelmat, jotka toimivat useiden erikokoisten laitosten yhteydessä. Suunnitelmien teon ohessa insinööri-työssä pohdittiin myös projektien käytännön toteutusta.</p> <p>Insinööriyössä rakennettiin malli, jonka mukaan suunnitelmista saadaan laskettua työ- ja materiaalikustannukset ja rakennettua arvioaikataulu käyttäen apuna sähköistysalan työehtosopimus (TES).</p> <p>Insinööriyön viimeisessä osassa pohditaan projektitoteutusta ulkomailla. Työssä pohditaan eri maissa toteutettavien projektien haasteita ja huomioitavia asioita projektien toteutuksen kannalta.</p> <p>Insinööriyön tuloksena saatiin tehtyä hyvä pohjatyö suunnitelmien skaalautuvuuden ja modulaarisuuden toteutukseen. Tämänhetkisten tietojen perusteella oli mahdollista toteuttaa täydellisiä suunnitelmia. Kehitystyö tulee jatkumaan tämän insinööriyön pohjalta.</p>	
Avainsanat	modulaarisuus, skaalautuvuus, sähkösuunnittelu

Author Title	Joonas Virtanen Implementation of modular design
Number of Pages Date	28 pages + 1 appendix 02 November 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	Electrical Engineering for Building Services
Instructors	Seppo Innanen, Senior Lecturer Koffi Houanou, Design Engineer (DI)
<p>The purpose of this final year project was to build a modular and scalable electrical design for the power plant solutions of a company. Another purpose was to use the design with power plants of varied sizes. Still another aim of the project was to discuss the practical implementation of the design from various viewpoints.</p> <p>The design was used to build a model for material and labor cost calculations, as well as for a plan for scheduling the project. The calculations were done according to the Finnish labor union contract for electrical workers (TES). Finally, the thesis discussed project implementation abroad. Comparisons of various challenges facing projects in different countries were done.</p> <p>The study resulted in a good foundation for scalable and modular designs. It was not yet possible to make complete designs because the development of the power plant solution is still ongoing, but future development of the designs will be based on this thesis.</p>	
Keywords	modular, scalable, electrical design

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Afrikka ja muut kehittyvät markkina-alueet ja mahdollisuudet	1
2.1	Afrikka markkina-alueena	2
2.2	Sähköntuotannon haasteet Afrikassa	2
2.3	Hajautettu sähköntuotanto	3
2.4	PMU, sähkönhallintayksikkö (power management unit)	3
3	Suunnitelmat	5
3.1	Suunnittelu	5
3.1.1	Lähtötiedot	5
3.1.2	Skaalautuvuus	6
3.2	Toteutus	8
3.2.1	Modulaarisuus	8
3.2.2	Enstonet	8
3.3	Valaistuksenohjaus	9
4	Suunnittelu	9
4.1	SFS-standardi	10
4.1.1	Sähköjakelujärjestelmä	10
4.1.2	TN-jakelujärjestelmä	11
4.2	Sähköistyssuunnitelmat	12
4.2.1	Keskukset	12
4.2.2	Maadoitukset	13
4.2.3	Kaapelitiet	13
4.2.4	Sähkön jakelu	14
4.2.5	Valaistus	14
4.2.6	Ilmanvaihto	16
4.2.7	Yleiskaapelointi	17
4.2.8	Palovaroitin- ja poistumisvalaistusjärjestelmä	17
4.2.9	Tasokuva	18
4.3	Mitoitus	18

5	Suunnittelutyökalu	21
5.1	Johdanto	21
5.2	Massat	21
5.3	Työn hinta	21
5.4	Laskentaesimerkki: kaapelihyllyt	22
6	Ulkomaan projektien haasteet	23
6.1	Yleistä	23
6.2	Lähetys	23
6.3	Massalistat	23
6.4	Paikallinen työvoima	24
6.4.1	Paikallisen kulttuurin ja työtapojen tunteminen	24
6.4.2	Työajat ja työteho	24
6.4.3	Työkalut ja tarvikkeet	25
7	Päätelmät	25
	Lähteet	26

Liitteet

Liite 1. Kaapelinmitoitukseen rakennettu excel-taulukko

Lyhenteet

CAN	controller area network (automaatioväylä)
kW	kilowatti
MW	megawatti
PEN	protective earth neutral (yhdistetty suojamaa- ja nollajohdin)
RFP	renewable fuel power, uusiutuvan polttoaineen voimalaitos
PMU	power management unit, sähkön hallintakeskus
PPA	power purchase agreement, sähkön ostosopimus,
TES	työehtosopimus

1 Johdanto

Insinööriyössä suunnitellaan Nocart Oy:n monipolttoaineboilerivoimalaitoksen sähköteknisiä järjestelmiä. Suunnittelussa lähtökohtana on skaalautuvuus ja toteutuksessa mahdollisimman suuri modulaarisuus, jolla tehostetaan ja helpotetaan asennustöitä.

Nocartin markkina-alueita ovat kehittyvät maat, etenkin Afrikan maat [1]. Nocartin toteuttamat voimalaitokset ovat hyvin erikokoisia, alle MW:sta jopa 30MW:iin, skaalautuvina jopa suurempia. Nocartin palvelukonseptissa tarjotaan sähköntuotantolaitteiston ohessa myös muita palveluja. Näin syntyi tarve toteuttaa sähkösuunnittelu RFP-voimalaitoksen (renewable fuel plant) [2] ympärille rakennettavaan halliin. Voimalaitosten koot vaihtelevat huomattavasti, joten suunnittelemisen on oltava helposti skaalattavissa. Näin niitä pystyy soveltamaan useiden erikokoisten tuotantolaitosten toteutuksessa.

Suunnittelussa on otettava huomioon skaalautuvuus. On kehitettävä mahdollisimman tarkat suunnitelmat, jotka ovat kuitenkin samanaikaisesti skaalautuvia. Järjestelmät toteutetaan mahdollisimman yksinkertaisesti ja toteutuksessa käytetään mahdollisimman paljon modulaarisuutta.

Nocart on kasvanut muutamassa vuodessa pienestä start up -yrityksestä isojen voimalaitoksien toimittajaksi. Yrityksen liikevaihto on moninkertaistunut vuosittain. [3]

2 Afrikka ja muut kehittyvät markkina-alueet ja mahdollisuudet

Afrikka on yksi maailman kasvavimmista talousalueista [4], mikä luo suuret mahdollisuudet voimalaitoksia toimittavalle vientiyritykselle. Kilpailu on kuitenkin kovaa, etenkin Aasian maiden kanssa. Suomalaisten vientiyritysten on pystyttävä vastaamaan kilpailuun niin hinnalla kuin laadullakin. Tämän lopputyön tarkoituksena on laajentaa Nocartin palvelukonseptia tarjoten asiakkaille nykyistä kokonaisvaltaisempaa konseptia. Uskomme sen tuovan markkinaetua kilpailijoihin nähden.

2.1 Afrikka markkina-alueena

Nocartin liiketoiminta tähtää voimakkaasti vientiin. Tällä hetkellä maailman nopeimmin kasvavat markkinat ovat kehittyvissä maissa, etenkin Afrikassa [4]. Monessa Afrikan valtiossa infrastruktuuri on kuitenkin huonokuntoista ja sen parantaminen on välttämätöntä kestävän talouskasvun aikaansaamiseksi.

Pariisin ilmastokokouksen päätöslauselman ratifiointin jälkeen uusiutuvaa energiaa hyödyntävien sähköntuotantolaitteistojen markkinat kasvoivat, ja nyt suomalaisilla cleantech-yrityksillä on suuret markkinat [5, s. 53] Aurinko-, tuuli- ja biovoimaloille on nyt suurta kysyntää. Monissa Afrikan maissa ollaan myös vapauttamassa sähköntuotannon monopoleja ja mahdollistamassa yksityisten yritysten pääsemistä markkinoille. Vuonna 2016 Malawissa perustettiin ohjausryhmä valtiollisen sähköyhtiön rinnalle valmistelemaan mahdollisuutta tarjota PPA-sähkönostosopimuksia yksityisille toimijoille [6]. Valtio lupautuu ostamaan yksityisen tuotantolaitoksen tuottaman sähkön sopimuksessa määritellyllä hinnalla. Markkina-alue kasvaa huomattavasti, kun voimalaitoksen omistaja, esimerkiksi maatila, voi myydä oman ylituotantonsa yleiseen sähköverkkoon ja saada näin lisätuloja sähkön myynnillä.

2.2 Sähköntuotannon haasteet Afrikassa

Afrikan maat ovat pinta-alaltaan hyvin suuria ja välimatkat pitkiä. Sähköntuotanto tapahtuu nykyään pääosin keskitetysti isoilla voimaloilla, joista sähkö siirretään pitkiä linjoja pitkin käyttäjille. Sähköntuotannon tehoa nostamalla siirrossa aiheutuva hävikki kasvaa eksponentiaalisesti. Sähkön siirron häviöt voidaan laskea oheisen kaavan mukaisesti.

$$P_{\text{häviö}} = I^2 \times R \quad (1)$$

I on siirtolinjassa siirrettävä virta

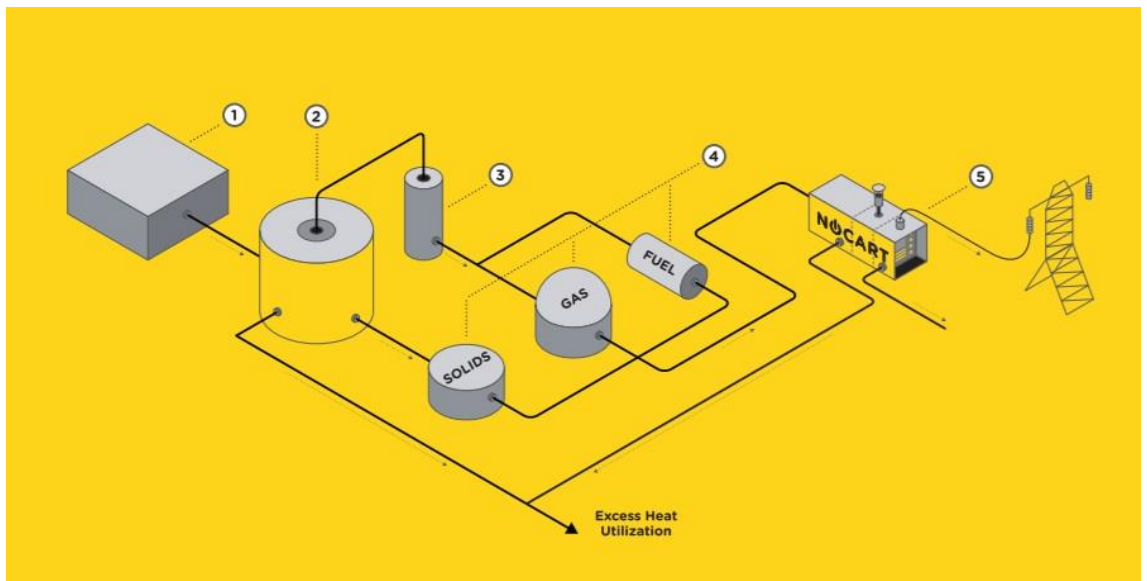
R on linjan resistanssi.

Lisäämällä tuotantoa ilman investointia kantaverkkoon häviöt kasvavat eksponentiaalisesti. Hyvä esimerkki on Sambia, jossa kantaverkkoon ei ole investoitu lainkaan vuosien

1980 ja 2000 välisenä aikana, minkä takia sähkönsiirron häviöt ovat 2015 olleet 16,3 % [7, s. 56]. Kasvava sähköntarve tuo haasteita koko infrastruktuurille. Ongelma voidaan korjata kalliilla investoinneilla sähköverkkoon tai sähköntuotanto voidaan hajauttaa, jolloin tuotanto ja kulutus ovat maantieteellisesti lähellä toisiaan.

2.3 Hajautettu sähköntuotanto

Hajautetun sähköntuotannon ajatuksena on tuottaa sähkö mahdollisimman lähellä kulu- tusta. Näin verkon siirtohäviöt saadaan minimoitua ja mahdolliset kalliit verkon investoin- nit vältetään, mikä tuo säästöä (kuva 1). Hajautettu sähköntuotanto tarkoittaa käytän- nössä pieniä aurinkopaneeleja talojen katoilla, isompia aurinkopaneelikenttiä sekä maa- tilan yhteyteen rakennettuja biovoimalaitoksia. Nocartin voimalaitokset on suunniteltu juuri hajautettuun sähköntuotantoon.



Kuva 1. Kaaviokuva Nocart Oy:n voimalaitoksesta [2]

2.4 PMU, sähköhallintayksikkö (power management unit)

Nocartin suunnittelema PMU (kuva 2) on avainasemassa voimalaitosjärjestelmien toteu- tuksessa. PMU:n ideana on jakaa tuotettu energia tasaisesti joko varastointiin, paikalli- seen kulutukseen tai valtakunnalliseen verkkoon. PMU:ta voidaan syöttää monista eri

lähteistä, kuten biovoimaloiden generaattoreista, vesivoimaloiden turbiineista tai aurinkopaneeleista. Verkkoliitäntä toimii kaksisuuntaisesti, jolloin tuotettu energia voidaan tarvittaessa myydä verkkoon. PMU rakennetaan modulaariseksi, jotta voidaan syöttää sähköä eri lähteistä moduuleita lisäämällä. PMU-yksikkö on Nocartin voimalaitosjärjestelmien keskeisin osa, jonka ympärille rakennetaan modulaariset voimalaitosratkaisut. Näin tuotantolaitoksen ympärille rakentuvan rakennuksen on myös oltava modulaarinen ja mahdollisuuksien mukaan monistettava ja skaalautuva. Sähköntarpeen kasvaessa voidaan PMU-yksikköön lisätä moduuleita tai PMU-yksiköitä voidaan myös lisätä tarvittaessa. PMU:n tehoskaala on 50 kW:n tehoisesta keskuksesta aina megawatin kokoluokkaan asti. [8]



Kuva 2. Nocart Oy:n PMU-keskus [8]

3 Suunnitelmat

Kaiken suunnittelun ja toteutuksen ajatuksena on helppokäyttöisyys. Suunnitelmien on oltava mahdollisimman käyttökelpoisia erikokoisiin ja -mallisiin halleihin. Työn tavoitteena on luoda malli, jolla saadaan tehtyä suunnitelmat mahdollisimman helposti ja kustannustehokkaasti hallin koosta ja mallista riippumatta. Suunnitelmien pitää siis olla skaalautuvia ja järjestelmien modulaarisia.

3.1 Suunnittelu

3.1.1 Lähtötiedot

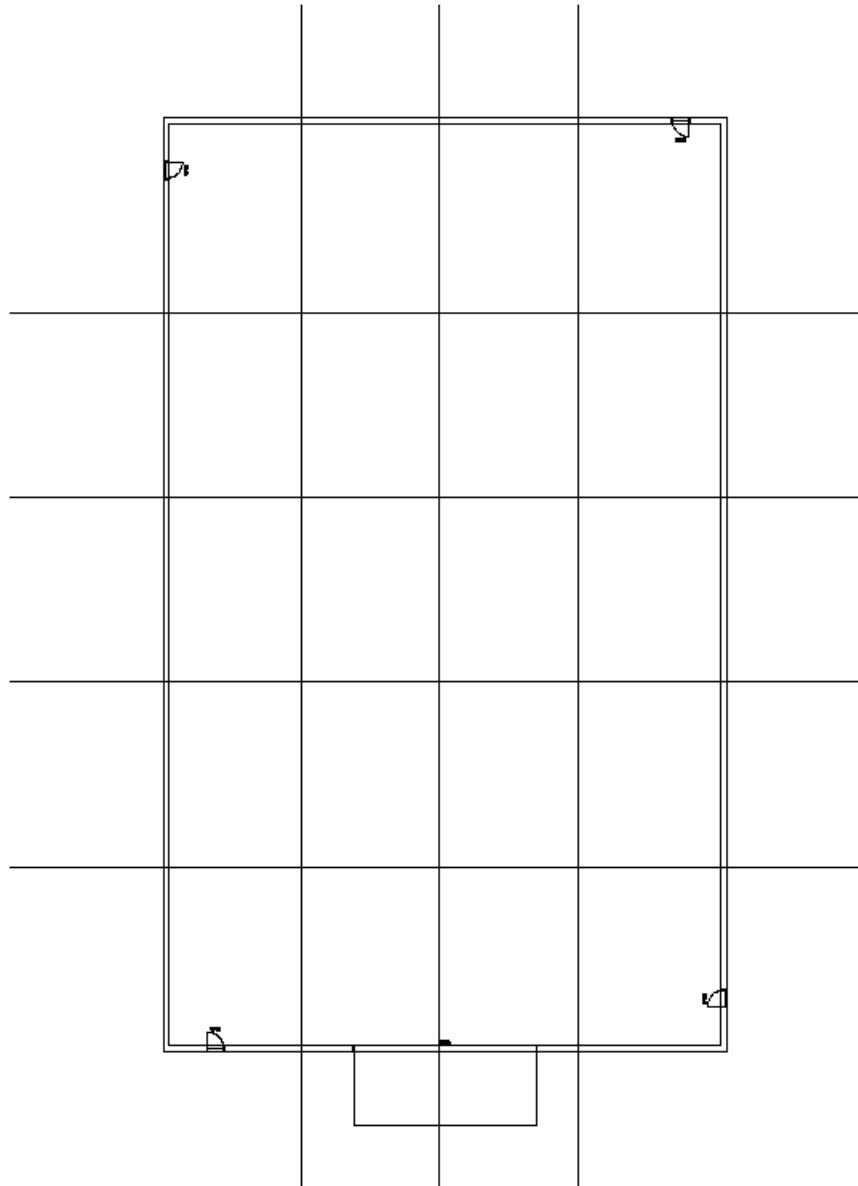
Suunnittelun kohteena on Tupa, joka on nimitys Nocartin toimittaman voimalaitoksen ympärille rakennettavasta hallista. Suunnittelusta tekee haastavaa voimalaitoksen tehosta riippuva Tuvan koko. Suunnitelmia on pystyttävä käyttämään hankesuunnittelun budjetointiin, ja ne luovat suuntaa-antavan pohjan työsuunnittelulle. Päättytyössä suunnitelmalaajuus rajattiin oheisen listan mukaisesti. Nämä mallisuunnitelmat sisältyvät Tuvan hankesuunnittelupakettiin:

- Mallikeskukset
- Johtotiet/pistesijoitus mallipohjaan
- Järjestelmäkaaviot oheisista järjestelmistä:
 - Palovaroitin
 - Turvavalaistus
 - Yleiskaapelointi
 - Maadoitus
 - Nousujohtokaavio.

3.1.2 Skaalautuvuus

Kohteet, joihin suunnitelmia tullaan käyttämään, ovat kooltaan hyvinkin erikokoisia. Näin ollen yhtä suunnitelmaa ei voida käyttää moneen projektiin, vaan suunnittelun lähtökohdaksi pitää olla skaalautuvuus, jotta kykenemme pienellä työllä mukauttamaan suunnitelmat eri kokoluokkiin.

Suunnittelussa käytettiin malli-Tupaa (kuva 3), joka vastaa kokoluokassa suurinta yksittäistä laitosta. Piirsin pohjakuvamallin, jonka perusteella lähdin toteuttamaan suunnitelmia. Jotta suunnitelmasta tulisi skaalautuva, se jaettiin pysty- ja vaakasuuntaisiin sektoreihin. Yhtä sektoria kutsutaan Nopaksi. Jokainen Tupa koostuu tietystä määrästä Noppia. Tuvan koko voi siis muuttua, mutta Nopat ovat aina samankokoisia. Näin saamme yhden muuttumattoman elementin, jonka pohjalle suunnitelmat voidaan tehdä. Nopan suunnitelmasta nähdään järjestelmät ja tietäen Noppien kokonaismäärä sähköurakka saadaan helposti massoiteltua ja budjetoitua.



Kuva 3. Tuvan pohjakuvamalli

Esimerkki-Tuvan koko on 31,2 metriä x 50 metriä ja korkeus kahdeksan metriä. Tuvan koko on muuttuva riippuen sisään rakennettavan voimalaitoksen kapasiteetista. Yhden nopan koko on 7,8 metriä x 10 metriä ollen tilanteesta riippumatta aina samankokoinen.

3.2 Toteutus

3.2.1 Modulaarisuus

Suunnitelmat sisältävät sähkötekniiset järjestelmät tyyppijärjestelmäkaaviona kuvattuna. Tasokuva tehdään yhdestä Nopasta, joka antaa mahdollisuuden massoitteeluun. Kokonaisuudet saadaan, kun tiedetään Noppien määrä. Urakointivaiheessa urakoitsija voi halutessaan toteuttaa asennukset parhaaksi katsomallaan tavalla. Ohessa on käsitelty asennusta helpottavaa Enstonet-nimistä modulaarista järjestelmää. Suunnitelmien modulaarisuuden on toimittava myös, kun laitoksia yhdistetään toisiinsa. Yhdelle asiakkaalle voidaan myydä useita vastaavankokoisia laitoksia, jotka kytkeytyvät yhteen. Näin ollen tietyt järjestelmät, kuten palovaroitin, turvavalo ja yleiskaapelointi, on suunniteltava modulaarisiksi. Näin järjestelmiä ei tarvitse suunnitella erikseen jokaista Tupaa varten, vaan uudet laitokset kytkeytyvät jo olemassa oleviin järjestelmiin.

3.2.2 Enstonet

Toteutuksen modulaarisuus rakennettiin Enstonet-pistoliitinjärjestelmän [9] pohjalta. Enstonet-pistoliitinjärjestelmä rakentuu esivalmistetuista osista. Valaisin- ja pistorasia-asennukset voidaan toteuttaa ilman koteloiden tai rasioiden avaamista. Asennusjärjestelmä mahdollistaa suurten kokonaisuuksien rakentamisen selkeinä ja helposti hallittavina moduuleina.

Asennusjärjestelmän asennus on erittäin nopeaa, eikä erillisiä asennustarvikkeita tai välineitä tarvita. Asennus tapahtuu jo valmiiksi tehdyistä komponenteista. Asennuksessa ei myöskään tarvita sähköalan tuntemusta, vaan se on yksiselitteinen toimenpide. Ulkomaan projekteissa, joissa Nocart mahdollisesti toimisi urakoitsijana, on paikallista työvoimaa käytettäessä varmistettava laadun- ja työnvalvonta. Enstonet-liittimien kanssa minimoidaan väärinkytkenän mahdollisuus, koska kaikki liitokset ovat valmiskaapeleilla tehtyjä, ja kaapelit tulevat tehtaalta määrämittaan tehtyinä.

Jokaisen projektin toteutus on pohdittava kustannustehokkuuden kautta. Enstonetilla on seuraavia etuja, joiden takia se olisi erittäin toimiva ja hyvä järjestelmä juuri modulaarisiin ja skaalattaviin järjestelmiin:

- Modulaarisuus, helposti laajennettava

- Asennus, helposti ja nopeasti asennettava, yksiselkoinen plug & play -järjestelmä
- Muunneltavuus.

Kustannustehokkuuden kannalta jokaisen projektin toteutus käydään erikseen läpi. Tilanteissa, jossa Nocart ei itse vastaa urakoinnista vaan tarjoaa suunnitelmat tilaajan käyttöön, on tilaajan valinta, miten he haluavat asennuksen toteuttaa.

3.3 Valaistuksenohjaus

Valaistuksenohjaukseen on tarkoitus käyttää liike- ja läsnäolotunnistimia, jotta valojen käyttö olisi mahdollisimman käytännöllistä ja energiatehokasta. Käymme Suunnittelukohdassa tarkemmin läpi tunnistintyyppin ja kytkennät. Valaistuksen ohjaukset toteutetaan noppakohtaisesti. Suunnitelmiin lisätään myös ns. master-ohjaus, jolla kyetään ohjaamaan kaikki valot pois ja päälle yhden keskuksessa olevan painikkeen kautta.

4 Suunnittelu

Suunnittelu jaetaan kahteen osaan. Ensimmäisenä tehdään tasokuva perusjärjestelmistä yhden nopan alueelta. Yhden nopan tasokuvan lisäksi suunnitellaan turva/tietoteknisistä järjestelmistä esimerkkikaaviot. Näiden lisäksi suunnitelmissa on mukana tyyppikeskukset, joita muokataan toteutuksen mukaisesti. Valmiista suunnitelmista saamme oheiset tiedot:

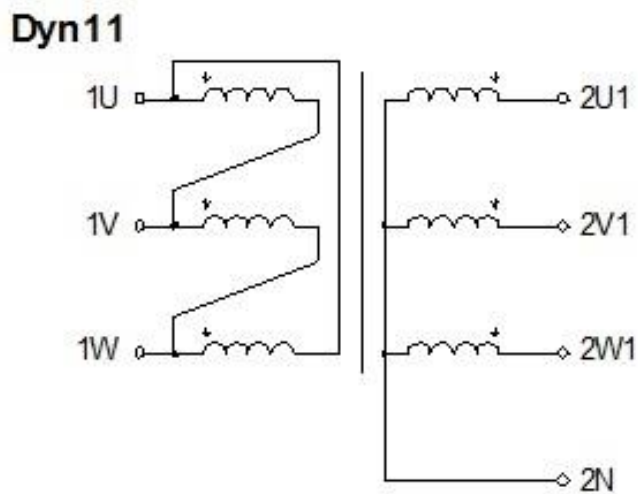
- massat budjetointiin ja TES-työn laskentaan
- esimerkkijärjestelmäkaaviot
- tyyppikeskukset.

4.1 SFS-standardi

Kaikki on suunniteltu ja toteutettu Suomen sähköturvallisuuksäädösten mukaisesti. Sähkön kanssa toimittaessa on aina oltava varovainen, ja haluamme olla varmoja asennusten turvallisuudesta, joten sovellamme kaikessa turvallisuuteen liittyvissä asioissa Suomen sähköturvallisuuksuhjeistuksia. Laitokset tullaan pääsääntöisesti rakentamaan ulkomailla, joten paikallisen lainsäädännön vaatimat muutokset ovat mahdollisia.

4.1.1 Sähkönjakelujärjestelmä

Suunnittelussa on otettava huomioon SFS-standardin määrittelemän jakelujärjestelmän käyttö. Suomessa käytetään TN-järjestelmää [10, s 86]. TN-S-C-jakelujärjestelmässä pienjännitejakelumuuntaja on kytketty Dyn 11 -kytkentään (kuva 4), jossa muuntajan käämit on kytketty yhteiseen tähtipisteeseen, joka maadoitetaan. Laitos suunnitellaan TN-S-järjestelmän mukaan.



Kuva 4. Dyn 11 -muuntajakytkentä

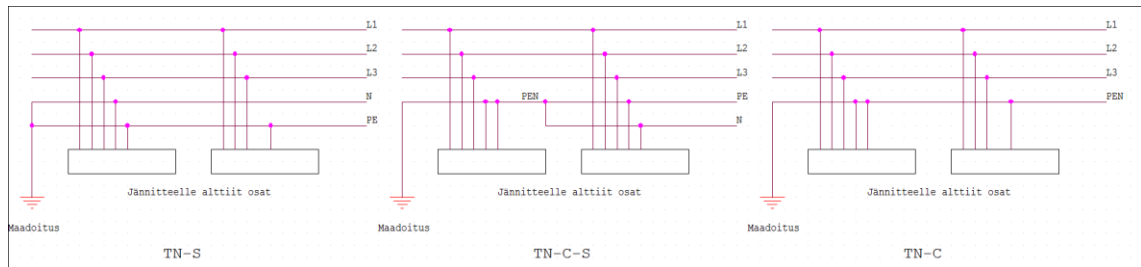
Useissa muissa maissa on käytössä TT-, TN-, tai IT-järjestelmiä (kuva 5). Erityyppiset sähköjakelujärjestelmät kohdemaissa vaikuttaa suuresti suunnitteluun. Ennen toteutusta on selvitettävä kohdemaan käyttämä järjestelmä.

country	LV earthing system	observations
Germany 230/400 V	TT and TN-C	the TN is the most commonly used; R_T must be $< 2 \Omega$; earth connection at the consumer's, even in TN
Belgium 230/400 V	TT	$R_u < 100 \Omega$ 30 mA RCD for sockets
Spain 230/400 V	TT	$R_u < 800 \Omega$ with 30 mA RCD at supply end of the installation
France 230/400 V	TT	$R_u < 50 \Omega$, (100 Ω shortly) 30 mA RCD for sockets
Great Britain 240/415 V	TT and TN-C	- town areas: TN-S and TN-C (New Est installations: 15 %), the earth connection ($< 10 \Omega$) of the neutral is provided by the distributor - rural areas: TT
Italy 230/400 V	TT	RCD with $I_{\Delta n}$ as a function of R_u ($I_{\Delta n} < 50/R_u$). For consumers without earth connection 30 mA RCD
Japan 100/200 V	TT	$R_u < 100 \Omega$, frequent use of 30 mA RCD, no search for equipotentiality
Norway 230/400 V	IT	premises in insulating materials and poor earth connections account for this choice. homes with signalling 30 mA RCD. tripping of connection circuit breaker if 2 faults.
Portugal	TT	$R_u < 50 \Omega$ (100 Ω as from 1995).
USA 120/240	TN-C	earthing of neutral at LV consumers (all earth connections are connected to the source substation).

Kuva 5. Käytössä olevia sähköjakelujärjestelmiä eri maissa

4.1.2 TN-jakelujärjestelmä

TN-järjestelmässä (kuva 6) syöttävän pään maadoitus on kytketty nollajohtimeen, josta tehdään PEN-johdin (protective earth neutral). PEN-johtimessa yhdistetään suojamaadoitus ja nollajohdot. TN-järjestelmässä saadaan maadoitus koko matkalta yhtenäiseksi, muuntajalta aina kuluttajalle asti. PMU:n ollessa sähkön jakelulaitoksena järjestelmän päämaadoitus on kytketty PMU:sta maadoituselektrodiin. Suomessa on yleisimmin käytössä TN-järjestelmä.



Kuva 2. TN-järjestelmän eri muunnokset

4.2 Sähköistysuunnitelmat

Suunnitelmat tehdään seuraavaksi kuvatuista järjestelmistä. Suunnitelmat ovat suuntaa antavia, ja toteutuksessa on aina tehtävä tarvittavista järjestelmän osa-alueista työkuvat ja mahdolliset detaljipiirustukset.

4.2.1 Keskukset

4.2.1.1 Pääkeskus

Pääkeskuksia tulee rakennuksen koosta riippumatta aina yksi. Kaikki talotekniset lähdöt suunnitellaan otettavan pääkeskuksesta. Sellaisia ovat esimerkiksi ilmanvaihto ja savunpoisto, joiden suunnittelu sinänsä ei kuitenkaan ole näissä suunnitelmissa mukana. Niin nämä lähdöt jätetään suunnitelmiin varauksina. Varaukset jätetään myös sprinkleri- tai kaasusammutusjärjestelmille. Pää- ja ryhmäkeskus asennetaan eri puolille Tupaa, ja Noppien sähkönsyöttö jaetaan puoliksi molempien kesken. Tämä tapahtuu kuitenkin ohjaamalla valaistus kokonaisuudessaan pääkeskuksesta. Pääkeskukseen asennetaan myös ylijännitesuojaus.

Pääkeskus syötetään rakennettavan voimalaitoksen PMU:lta. PMU kytketään kantaverkoon, jolloin voimalaitoksen käyttökatojen aikana pääkeskus saa syöttönsä kantaverkosta. Kantaverkon ollessa myös alhaalla pääkeskuksen syöttö tulee vaihtoehtoisesti varavoimakoneilta tai akustolta. Varavoimakoneiden ollessa IT-jakelujärjestelmällä kolmioon kytkettyjä on pääkeskuksen syöttö otettava muuntajan kautta. Tämä on suunniteltava tapauskohtaisesti ja huomioitava hankesuunnittelussa.

4.2.1.2 Ryhmäkeskukset

Ryhmäkeskuksia lasketaan yksi kappale Tupaa kohden. Ryhmäkeskukseen tulee pääasiallisesti noppien pistorasiasyötöt.

4.2.2 Maadoitukset

Maadoitukset toteutetaan SFS 6000 -standardin mukaisesti [10, s. 285]. Rakennuksen rakentamisvaiheessa ohjeistetaan paikallisia rakentajia asentamaan maadoituselektrodi rakennuksen ympäri rengasmuotoon. Lattian mahdollisen betonilaatan rauditusverkko on myös huomattava maadoittaa rakentamisen aikana ennen valua. Sähköntuotantolaitoksella ei ole omaa maadoituselektrodia, vaan kaikki maadoitukset liittyvät samaan päämaadoituskiskoon, joka sijaitsee pääkeskuksen luona.

Laitteiston sijoituspaikasta riippuen on selvitettävä viranomaisten määrittelemä paikallinen maadoitustarve. Maaperä on myös yksi oleellinen osa maadoituksen toimivuutta. Maaperä on tutkittava aina paikallisesti, jotta voimme varmistua maadoituksen riittävästä.

Kaikille keskuksille asennetaan omat maadoitus/potentiaalintasaus -kiskot, joihin metalliset ja sähköä johtavat rakenteet yhdistetään. Myös kaapelitiet ja valaisinripustuskiskot on maadoitettava. Maadoituksista tehdään periaatekaavio, jonka mukaan maadoitukset voidaan toteuttaa. Järjestelmässä olevat varavoimakoneet on maadoitettava impedanssin kautta, jos ne ovat kolmioon kytkettyjä generaattoreita.

4.2.3 Kaapelitiet

Kaapelitiet toteutetaan erillisillä tele- ja sähköhyllyillä. Molemmat hyllyt ovat 300 millimetriä leveitä ja kulkevat päällekkäin, telehylly päällimmäisenä. Hyllyinä käytetään MEKA KS20 -levyhyllä tai vastaavaa toisen valmistajan tuotetta. Valaisinripustuskiskot toteutetaan MEK 70 -kiskoilla tai vastaavilla. Asennus tehdään kattokiinnityksellä.

4.2.4 Sähkön jakelu

Sähkön syöttö Tupaan tapahtuu Nocartin voimalaitoksen PMU:lta, josta se syötetään TN-S-viisijohdinjärjestelmän mukaisesti. Sähkönjakelu toteutetaan pääkeskukselta viisijohdinkaapeleilla SFS 6000 -standardin mukaisesti [10, s. 86]. Kaapeleiden on oltava halogeenivapaita, alle 16mm²:n kaapeleiden on oltava kuparia ja yli 16mm²:n kaapeleiden alumiinia.

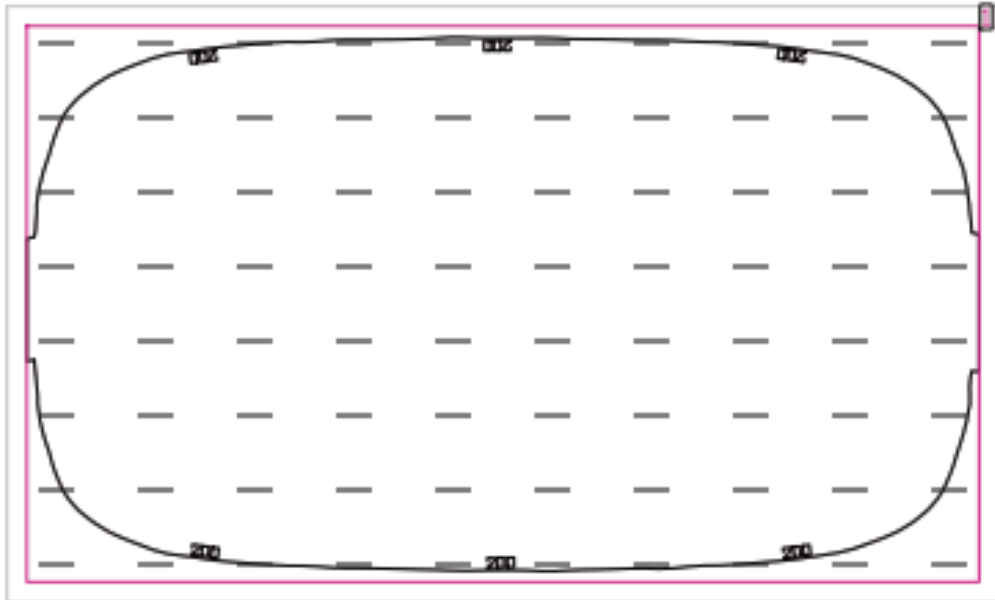
4.2.5 Valaistus

Valaistuksessa käytämme varastorakennuksen valaistusohjeistusta 200 lux [11, taulukko 5.4, s. 38]. Hallin osat, joissa tarvitaan kirkkaampaa valaistusta, varustetaan kohdevalaisimilla, joita ohjataan paikallisesti joko kytkimellä tai liiketunnistimella. Nämä detailjsuunnitelmat tehdään työsuunnitteluvaiheessa. Valaisimet ovat kaikki led-tekniikalla varustettuja, jotta sähkönkulutus ja huoltotarve saadaan minimoitua. Valaisimeksi määriteltiin Philips Coreline WT120C LED60S/840 PSU L1500 (kuva 7). Valaisimien saataavuus on hyvä ja hankinta kustannustehokasta, koska ne on mahdollista tilata valmiilla Enstonet-pikaliittimillä.



Kuva 3. Tuvan valaisin, Philips coreline WT 120C

Haluttu valaistusmäärä saadaan oheisen kuvan mukaisella sijoituksella (kuva 8). Valaistusvoimakkuus laskettiin Dialux-ohjelman avulla. Sijoituskorkeus on kahdeksan metriä.



Kuva 4. 200 luxin valaistusvoimakkuus aluepohjakuvaan merkittynä

Valaistuksenohjaus toteutetaan Luxomat PD4-M-1C -tunnistimilla (kuva 9). Tunnistin on läsnäolotunnistin on/off -toiminnolla, ja siinä on sekavalomittaus, jonka ansiosta se tietää, kuinka paljon valoa tulee muualta ympäristöstä ja kuinka suurta osuutta kokonaisvalovoimakkuudesta se ohjaa. Tunnistin sytyttää valot, jos liikkeen havaittuaan valoa ei ole tarpeeksi. Valaistuksen ohjaukseen käytetään jokaisessa moduulissa omaa tunnistinta. Kuitenkin johdotus toteutetaan mahdollistamaan tarvittaessa valaistuksen ohjauksen yhdeltä tunnistimelta. Läsnäolotunnistimen asennuskorkeus on Tuvan kattopinassa. Esimerkki-Tuvassamme korkeus on kahdeksan metriä. Sijoitus kahdeksan metrin korkeuteen antaa kohtisuoralle liikkeelle kahdeksanmetrisen tunnistusalueen, joka riittää hyvin koko Nopan alueelle.

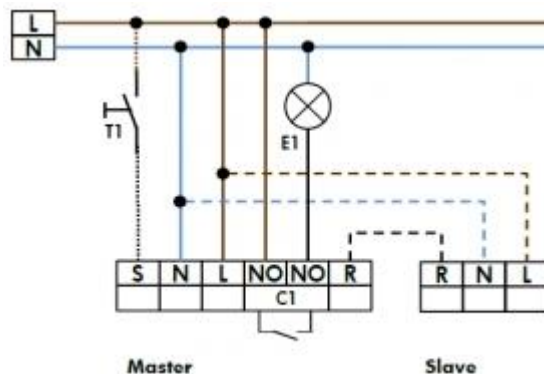
PD4-läsäolotunnistin

Valvonta-alue määräytyy asennuskorkeudesta			
Asennus korkeus	Ympyrä T=18°C		
	Istuttaessa	Kulku sivusuunnassa	Kulku kohti tunnistinta
2,00 m	r=2,60 m	r=8,50 m	r=3,20 m
2,50 m	r=3,20 m	r=12,00 m	r=4,00 m
3,00 m	r=3,80 m	r=14,50 m	r=4,80 m
3,50 m	r=4,50 m	r=17,00 m	r=5,50 m
4,00 m	–	r=19,50 m	r=6,80 m
4,50 m	–	r=22,00 m	r=7,20 m
5,00 m	–	r=24,00 m	r=8,00 m
10,00 m	–	r=24,00 m	r=8,00 m

r=säde

Kuva 5. Asennuskorkeudella 8,00m valvonta alueen säde vähintään 8 metriä.

Järjestelmän pääkeskukseen asennetaan myös master-kytkin, joka mahdollistaa kaikkien valojen pakkosyötön tarvittaessa (kuva 10). Tunnistimien ohjelmointi tapahtuu kaukosäätimellä, joka helpottaa huolto- ja muutostöitä, kun tunnistimen luo ei tarvitse nousta tikkailla.



Kuva 6. Liiketunnistimen kytkentäkaavio, T1-master-kytkin asennetaan pääkeskukseen

4.2.6 Ilmanvaihto

Ilmanvaihto toteutetaan tarvittaessa pakettikoneella, joka sijoitetaan hallin katolle. Ilmanvaihtokoneen akustisia vaikutuksia ei tarvitse ottaa huomioon, koska tuotantolaitoksen tuottama äänitaso on korkea. Ilmanvaihtokoneen koko on määriteltävä erillisessä suunnitelmassa. Sähkötekniisiin suunnitelmiin lisätään kuitenkin varaus koneelle ja sen ohjaukselle.

4.2.7 Yleiskaapelointi

Ethernet-verkko suunnitellaan kuitupohjaisella runkoverkolla. CAT6a, yleiskaapelointiverkon ongelmana on sadan metrin maksimipituus [12]. Halleissa, joihin suunnitelmien halutaan moduloituvan, kaapelointipituudet pääkeskuksen ja kaukaisimman pisteen välillä muodostuvat helposti yli satametrisiksi. Näin ollen helpoin tapa toteuttaa yleiskaapelointiverkko on käyttää runkoverkossa kuitua, ja jokaiseen ryhmäkeskustason jakamoon asennetaan mediamuuntimet, jolla kuitu OM3 muunnetaan CAT6a-tasoiseksi kupariverkoksi. Pääjakamo sijoitetaan pääkeskuksen viereen ja jokaisen moduulin ryhmäkeskuskulle tulee omat pienet jakamot, joihin kytkeydytään kuitukaapelilla. Kuidut mitoitetaan jo valmiiksi ja asennetaan valmiskaapeleina. Kehittyvissä maissa asennusolosuhteet ovat usein haastavat ja etenkin Afrikassa erittäin pölyiset. Kuitujen hitsaaminen paikan päällä olisi liian työlästä ja haastavaa. Kustannusta nostavat myös hitsauslaitteiden hinnat. Kuituverkko tullaan siis rakentamaan valmiskaapeleista, jotka teetätetään valmiiksi. Jokaisista kuitukaapelia varten on mukaan varattava varakaapeli, jotta vikatilanteen sattuessa voimme kytkeä uuden kaapelin ja työt voivat jatkua.

Jokaiseen ryhmäkeskustasoiseen jakamoon asennetaan liittynät mahdolliselle valvomokontille. Kyseinen liittynnän on oltava hyvin pölyä ja kosteutta kestävä IP68 [10, s.175 taulukko 51.1].

Voimalaitoksen ohjausjärjestelmän signaaleja voidaan myös kuljettaa Ethernet-verkossa. Laitoksen automaatio-ohjauksen protokolla on CANbus, joka joudutaan muuntaamaan Ethernet-liitoksella yhteensopivaksi CAT6a:n kanssa. Tämä tulee kyseeseen etenkin useamman tuotantolaitoksen yhdistämisessä, jolloin jokaisen laitoksen PMU:iden on keskusteltava keskenään.

4.2.8 Palovaroitin- ja poistumisvalaistusjärjestelmä

Palovaroitin- ja poistumisvalaistusjärjestelmäksi valitsen Hedengren Oy:n edustaman Prodex FIREscape -järjestelmän, jonka etuna on se, että saamme rakennettua kaksi järjestelmää yhden keskuslaitteiston ja kaapeloinnin kautta. Poistumisvalaisimet on varustettu omilla varavirtalähteillä, joten kaapelointi voidaan toteuttaa heikkovirtakaape-

pääkeskukselle PMU:n kautta, ja sen kaapelointireittinä käytetään tikashyllyä. Mitoitukseen pituudeksi oletetaan 50 metriä. Mitoituslämpötilaksi oletetaan 35 astetta, jolloin kuormitettavuuden korjauskertoimeksi tulee 0,92 [10, s. 232]. Syöttökaapeli mitoitetään kulkemaan yksittäisenä kaapelihyllyllä. Mitoitusta varten määrittelin maksimitehon tarpeen. Tehontarpeen arvioinnissa on oletettu, ettei jokaista pistorasiaa kuormiteta samaan aikaan (taulukko 1).

Taulukko 1. Kokonaistehon tarve

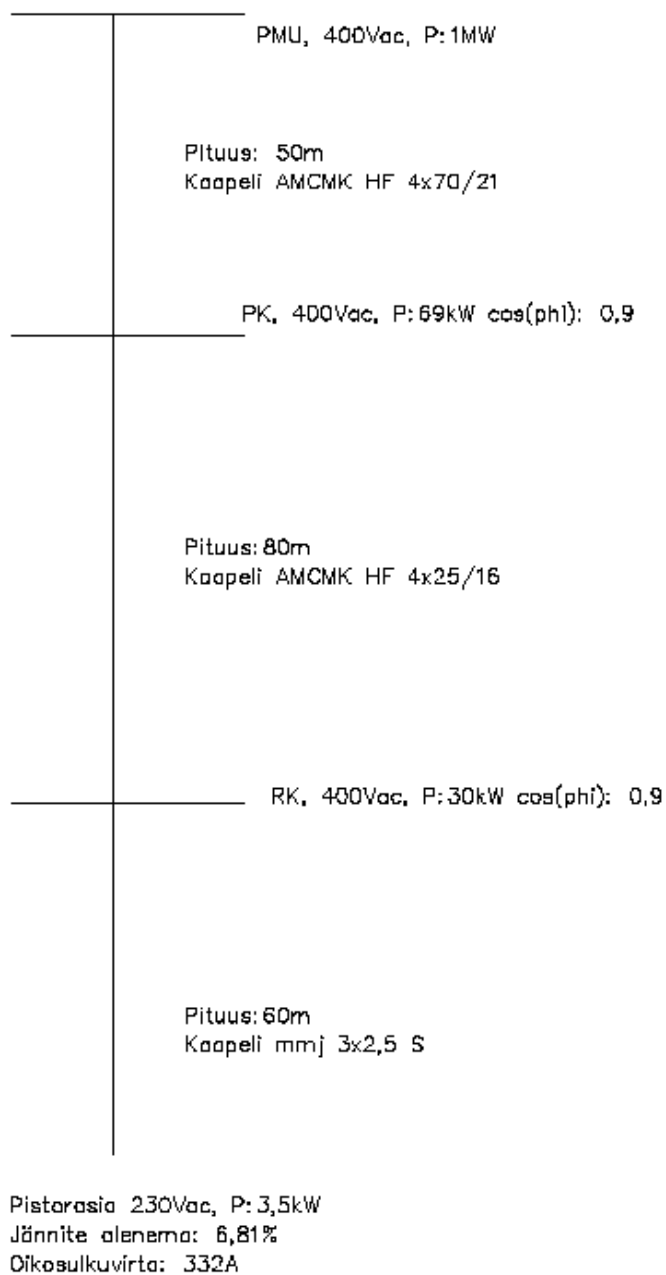
Mitoitus	
Laitteisto	teho(w)
valaistus	4560
pistorasiat	25000
valvomokontti	10000
heikkovirtajärjestelmät	3500
ilmanvaihto	10000
laskennallinen kulu	53060
mitoitus (varauskerroin 1,3)	68978

Mitoitusta varten rakensin laskentaohjelman (liite 1). Sillä saamme mitoitettua kaapeloinnin ja laskettua oikosulkuvirrat sekä varmistettua viimeisen pistorasian oikosulkukestoisuuden, jotta nopealaukaisu (0,4 sekuntia) toteutuu [13, s 7]. Oikosulkuvirta viimeisellä pistorasialla on 332 A (kuva 12). Ryhmäkeskuksessa, josta viimeinen pistorasia syötetään, käytetään C-luokan johdonsuojakatkaisijoita. C-johdonsuojakatkaisijassa oikosulkuvirran on oltava oheisen kaavan mukainen, jotta laukaisuaika saadaan alle 0,4 sekunnin.

$$10 \times I_n \quad (2)$$

I_n on johdonsuojan nimellisvirta

Mitoituksen mukaisesti oikosulkuvirta on 332 A, joka on täysin riittävä täyttämään SFS-standardin vaatiman laukaisuajan [13, s. 7] 0,4 sekuntia.



Kuva 8. Nousujohtokaavio

5 Suunnittelutyökalu

5.1 Johdanto

Lopputyön tarkoituksena on suunnitelmien lisäksi luoda Nocartille selvä ja helppokäyttöinen suunnitteluohjeistus. Ohjeistuksen lisäksi ja sitä täydentämään tehdään Excel-työkalu. Työkalun tarkoitus on laskea tarvittavat massa- ja työnkustannukset alkuparametrien täyttämisen jälkeen.

5.2 Massat

Ohjelma antaa seuraavat massat, joiden kautta määritellään työhinta ja tilattava tarvike:

- johtotiet, kaapelihyllyt ja valaisinripustuskiskot
- valaisimet
- liiketunnistimet
- kaapelit (kaapelin asennustapa)
- keskukset ja jakamot
- Enstonet-kytkentäkaapeleiden määrät.

5.3 Työn hinta

Osa sähköistysalan työehtosopimusta (TES) on urakkahinnoittelu [14, s. 107–142]. Tässä osassa määritellään jokaiselle työvaiheelle euromääräinen korvaus, jonka asentaja saa suoritettuaan tehtävän. Tämän projektin laskutoimituksissa TES-hinta kertoo, paljonko palkkakustannukset olisivat, kun kyseinen työ suoritettaisiin Suomessa. Näin saamme käyttööme referenssihinnan työskennellessämme ulkomailla paikallisen alirakoitsijan kautta. TES-hinnoitteluun on lisättävä sosiaalikulut, joilla palkkakulut kerrotaan. Sosiaalikulut ovat yrityksestä riippuvia, mutta omilla laskelmissani käytän kerrointa

1,8, jotta työn kokonaiskulu saadaan määriteltyä. Alihankintaa käytettäessä pitää myös huomioida alihankkijayrityksen kate, joka oletettavasti on 18:n ja 25 %:n välillä. Näin ol-
len TES-laskelman yksi euro on laskennallisesti 2,05 euroa ($1\text{€} \cdot (1,8 + 0,25)$).

Urakkahinnoittelua voidaan käyttää myös aikataulutukseen. Työn keston saamme las-
kettua urakkahinnoittelun kautta. Urakkahinnoittelu laskennallinen palkka on 18 euroa
tunnissa. Voimme olettaa, että 20 000 euron urakkatyö kestää normaalisti 1 111 tuntia.
Näin voimme arvioida hyvin asennustyöhön käytetyn ajan. Ulkomaan projekteissa on
laskettava omat kertoimensa eri maiden työntekijöille. Kenialaisen sähköasentajan nor-
maalitunnin työtahokkuuden ei voida olettaa olevan yhtä hyvä kuin suomalaisen sähkö-
asentajan. Urakkalaskentaa voidaan käyttää myös aikataulutukseen, mutta vain suun-
taa-antavana.

5.4 Laskentaesimerkki: kaapelihyllyt

Seuraavassa lasketaan esimerkki-Tuvan kaapelihyllyjen massat, joiden jälkeen saadaan
laskettua työkustannus sekä aikataulutettua työ. Oheisessa taulukossa 2 (taulukko 2) on
laskettu massat ja niiden pohjalta määritelty työn kustannus ja kesto.

Taulukko 2. Työhinnan ja -ajan laskelmat TES urakkahinnoittelun mukaisesti

Hylly	Leveys	Kokonaispituus	Asennuskorkeus	Suunnanmuutos		
sähköhylly	300mm	162,2	7,5	4		
telehylly	300mm	162,2	8	4		
kokonaismassat	300mm	324,4		8		
työkulu (netto)		1 547,39 €		33,84 €	1 581,23 €	
työkulu (netto) telinelisällä		1 934,24 €		42,30 €	1 976,54 €	
brutto					4 051,90 €	
työkesto						224,5 h
Asennus €/m						
4,77 €	TES urakkahinnoittelu 3010, s137					
Suunnanmuutos €/kpl						
4,23 €	TES urakkahinnoittelu 3010, s137					
Telineiltä työskentely						
7-9m, työkerroin						
1,25	TES urakkahinnoittelu 2210 s.113					
Työkerroin						
2,05	sis. asentajien sos kulut ja kate					
Takuu tuntipalkka €/h						
18,05	sähköistysalan TES 5.3 s.51					

6 Ulkomaan projektien haasteet

6.1 Yleistä

Projektien toteuttaminen ulkomailla on hyvin haasteellista. Haasteita tuovat niin maan sisällä olevat tekniset säädökset kuin kulttuurilliset toimintamallierotkin. Lähetyskustannukset ja tarvikkeiden paikallinen saatavuus ovat projektin toteutuksen kannalta oleellisia asioita. Suunnittelun ja toteutuksen täytyy olla huolellista, koska virheiden kustannusvaikutus voi ulkomaan projekteissa olla moninkertainen verrattuna Suomessa toteutettuun.

6.2 Lähetys

Ulkomaille tehtävän projektin yksi suurimpia haasteita on logistiikka. Tarvikkeet on saatava ajallaan työmaalle, ja niitä pitää olla riittävästi. Tavarantoimituksen ylittämisen ei ole kuitenkaan kustannussyistä kannattavaa. Logistisesti halvin ratkaisu on usein käyttää joko 20- tai 40-jalkaisia merikontteja. Afrikan projekteissa kontin kuljetusaika on kahdesta neljään kuukautta riippuen siitä, missä projekti toteutetaan. Tämä on otettava huomioon, kun tehdään aikatauluja ja lupaudutaan toimittamaan järjestelmä tai sen osakokonaisuus määrättyyn päivään mennessä.

6.3 Massalistat

Projektin tarvikkeet on laskettava tarkasti. Projektin toteutuksen kannalta on ensiarvoisen tärkeää, että kaikki tarvittavat tarvikkeet ja työkalut saadaan toimitettua. Paikallinen saatavuus on myös selvitettävä. Paikallisesti hankitun tarvikkeen laatu on kuitenkin selvitettävä. Ruuvit ja pultit saattavat olla heikommasta metallista valmistettuja, eivätkä näin ollen käyttökelpoisia. Massat on laskettava ruuvin ja mutterin tarkkuudella ja on varauduttava tarvittavalla lisämäärällä, joka voi vaihdella 10:stä 20 %:iin riippuen tarvikkeen hinnasta. Kaikessa on kuitenkin aina varmistettava budjetissa pysyminen. Projektien tekemisen edellytys on toteuttaa ne suunnitellussa budjetissa, jolloin liiallinen tarvikkeiden lähettäminen ei ole mielekäästä.

6.4 Paikallinen työvoima

Usein kustannustehokkain toteutus on käyttää paikallista työvoimaa. Työnjohtoon on kiinnitettävä huomiota, jotta työn laatu voidaan varmentaa. Olen itse asunut Malawissa kolme vuotta ja tehnyt töitä Mosambikissa ja Somaliassa. Seuraavat huomiot ovat oman kokemuksen kautta hankittuja, ja uskon niiden olevan hyödyllisiä ulkomaan projektien hoidossa.

6.4.1 Paikallisen kulttuurin ja työtapojen tunteminen

On ensiarvoisen tärkeää tuntea paikalliset tavat ja työkulttuuri. Työnjohto on oman kokemukseni mukaan erittäin tärkeää. On varmistettava, että työntekijät osaavat varmasti tehdä lupaamansa työt. Työnohjeistuksessa ei voida luottaa työntekijän myöntävään vastaukseen, koska kulttuurisesti kielteinen vastaus työnjohdolle tai esimiehelle ei ole vaihtoehto. Olen itse kokenut tämän useasti. Somaliassa ohjeistin työntekijöitä piikkaamaan reiän seinään. Kävimme työvaiheet yhdessä läpi ja oletin kaiken olevan kunnossa. Työnteon aloittamista en kuitenkaan valvonut. Hetken kuluttua paikalliset työmiehet tulivat rikkinäisen poravasaran kanssa luokseni. He eivät osanneet vaihtaa poravasaraa piikkaustoimintaa päälle, vaan olivat poranneet piikkausterällä, joka rikkoontui poravasaran sisälle, mikä teki työkalusta käyttökeltottoman. Olin oletanut myös oman ohjeistukseni olevan tarpeeksi kattava, mutta minun olisi kuitenkin kannattanut valvoa työn aloittamista. Onneksi olimme varautuneet työkalujen rikkoontumiseen varakoneella, jota ilman olisimme olleet vaikeuksissa. Välillisesti 65 euron poravasara olisi mahdollisesti tullut maksamaan useita tuhansia euroja, jos sen takia olisimme myöhästyneet aikataulusta ja joutuneet lykkäämään paluulentojamme tai pahimmassa tapauksessa tekemään useamman matkan.

6.4.2 Työajat ja työteho

Suomessa työntekijöillä on kahdeksan tunnin työaika, minkä lisäksi lounastauko on 30 minuuttia. Työaika sisältää kahvitauot [14, s. 21.] Useissa muissa maissa lounasajat ja käytännöt eroavat paljon suomalaisista. Esimerkiksi Malawissa lounastauko on puolitoista tuntia. Keskipäivän aikoihin kello 12:00–13:30 työmaalla ei tapahdu mitään, mikä voi olla usein turhauttavaa. Työteho pitää myös osata arvioida oikein. Kokemukseni mu-

kaan suurimpia kompastuskiviä on paikallisen työtehokkuuden ja moraalien ymmärtämättömyys. On tiedettävä, miten paikallisesti asiat hoidetaan, koska ilman tätä ymmärrystä projektien kustannustehokas toteuttaminen on lähes mahdotonta.

6.4.3 Työkalut ja tarvikkeet

Työkalujen kanssa on oltava tarkkana. Suomessa työkalujen ja tarvikkeiden varastaminen työmailta on suuri ongelma [15]. Kehittyvien maiden tilanne ei ole yhtään sen parempi. On varauduttava siihen, että kaikki liikkuva voidaan varastaa. Varastot ovat varustettava vahvoilla lukoilla ja tarvikkeiden inventointi tehtävä päivittäin. Työkalujen käyttöä on valvottava ja on varmistettava, että paikalliset osaavat käyttää niitä oikein.

7 Päätelmät

Suunnitelmani ovat vielä hyvin vajavaisia ja tarkkaa suunnitelmaa oli mahdoton tehdä kattavasti. Laitos, jonka yhteyteen suunnitelmat laaditaan, on vielä kehitysvaiheessa. Työn suurin anti oli mielestäni suunnitelmien skaalautuvuuden ja modulaarisuuden määrittely. Suunnitteluohjelman kehitys jatkuu vielä, ja aika näyttää, tuleeko siitä toimiva työkalu Nocart Oy:n voimalaitostoimituksiin. Työn aikana tuli listattua paljon ulkomaanprojektien erityispiirteitä ja huomioitavia asioita. Työstä ei tullut valmista pakettia, vaan enemmänkin hyvä pohja, josta on mahdollista kehittää toimiva työkalu tukemaan voimalaitosprojekteja.

Lähteet

- 1 Raunio, Helena. 2017. Suomalaisyhtiö Nocart nappasi 200 miljoonan aurinkovoimala-kaupan Sambiaan. Tekniikka & Talous, Verkkoaineisto. [http://www.tekniikkatalous.fi/talous_uutiset/yritykset/suomalaisyhtio-nocart-nappasi-200-miljoonan-aurinkovoimala-kaupan-sambiaan-6616804]. Luettu 2.11.2017
- 2 Renewable fuel power plant product description. 2017. RFP-Esite. Verkkoaineisto. Nocart Oy. [http://nocart.com/docs/RFP-plant_ProductDescription_lowres_17-2.pdf]. Luettu 2.11.2017
- 3 Taloustiedot. Nocart Oy. Verkkoaineisto. Finder yritysrekisteri. [<https://www.finder.fi/IT-sovelluksia+IT-ohjelmistoja/Nocart+Oy/Lahti/yhteystiedot/2483348>]. Luettu 2.11.2017
- 4 Koistinen, Antti. 27.3.2015. Afrikka hakkaa euroalueen talouskasvussa. Verkkoaineisto. Yle.fi [<https://yle.fi/uutiset/3-7879512>]. Luettu 2.11.2017
- 5 Ollikainen, Markku. 2017. Pariisin ilmastopöytäkirja ja Suomi: mahdollisuuksia vai rasitteita? Kansantaloudellinen aikakauskirja. 1/2017, s. 42.
- 6 Spahn, Andrew. 2017. Malawi Power Africa Factsheet. Verkkoaineisto. Usaid.gov [<https://www.usaid.gov/powerafrica/malawi>] Luettu 2.11.2017
- 7 De Buys, Scott. Dr Christian, Lindfeld. Alex, Martin. Puleng, Pitso. Mark, Engelbrecht. 2016. Sub-Saharan Africa Power Outlook, KPMG
- 8 Nocart Power Management Unit product description. 2017. PMU-esite. Verkkoaineisto [http://nocart.com/docs/PMU_ProductDescription_lowres_17-2.pdf]. Luettu 2.11.2017
- 9 Enstonet, pistoliitinjärjestelmä. 2017. Tuoteluettelo. Verkkoaineisto. Ensto.com [https://www.ensto.com/globalassets/brochures/enstonet/finnish/13236_enstonet_2008_net_24972.pdf] luettu 2.11.2017
- 10 Tiainen, Esa. 2017. D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Espoo: Sähköinfo
- 11 SFS-EN 12464-1. Valo ja valaistus, työkohteiden valaistus. 2011. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto
- 12 SFS-EN 50173-1: Tietotekniikka. Yleiskaapelointijärjestelmät. Osa 1: Yleiset vaatimukset. 2012. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.
- 13 SFS 6000-4-4: Suojausmenetelmät. Suojaus sähköiskulta. 2017 Helsinki: Suomen standardoimisliitto

- 14 Sähköistys- ja Sähköasennusalan Työehtosopimus, 1.2.2017–31.1.2018. STTA ry, PALTA ry, Sähköalojen ammattiliitto ry.
- 15 Jokiniemi, Emmakaisa. 22.7.2013. Työmailta varastetaan arvometallia ja työkooneita. Verkkoaineisto. Länsiväylä 22.7.2013. [<http://www.lansivayla.fi/artikkeli/246891-tyomailta-varastetaan-arvometallia-ja-tyokoneita>] Luettu 2.11.2017

Kaapelin mitoitukseen rakennettu excel-taulukko

YHDEN 3v NOUSUKAAPELIN MITOITUS PK

Max virran laskenta

$P_h =$	68978	W
$\cos\theta =$	0,9	

>>

$$I_{max} = 110,6 \text{ A}$$

>> gG >

gG 125

$$P_h / (\sqrt{3} \cdot 400 \cdot \cos\theta)$$

<- taulukko B.52-1 ($I_{max} < I_{minjk}$)

Kaapelin valinta

$I_{minjk} =$	138	A
$k_s =$	1	
$k_t =$	0,92	

>>

$$I_{maxjk} = 150,0 \text{ A}$$

$$I_{maxjk} < I_{[X\text{-asennus ja Y mm}^2]}$$

>> 70A 1,19

asennus yksittäisenä tikashyllylle, asennu (taulukko A.52-4)
(lämpötila korjauskerroin)

Jännitteen alenema

$R_{kaapeli} =$	0,53	Ω
$X_{kaapeli} =$	0,08	Ω
$s =$	50	m
$I_{max} =$	110,6	A
$\cos\theta =$	0,9	
$\sin\theta =$	0,4	

>>

$$R_{nousu} = 0,02563 \quad \Omega \quad R \cdot (s/1000) \cdot 0,967$$

$$X_{nousu} = 0,004 \quad \Omega \quad X \cdot (s/1000)$$

$$\Delta U_{\%} = 1,19 \quad \%$$

$$100/230 \cdot [(R \cdot I \cdot \cos\theta) + (X \cdot I \cdot \sin\theta)]$$

jännitteen alenema on ok

YHDEN 3v NOUSUKAAPELIN MITOITUS
RK

Max virran laskenta

$P_n =$	30000	W
$\cos\theta =$	0,9	

>>

$$I_{\max} = 48,1 \text{ A}$$

$$P_n / (\sqrt{3} \cdot 400 \cdot \cos\theta)$$

<- taulukko B.52-1 ($I_{\max} < I_{\min jk}$)

>> gG

50

Kaapelin valinta

$I_{\min jk} =$	55	A
$k_s =$	1	
$k_t =$	0,8	

>>

$$I_{\max jk} = 68,8 \text{ A}$$

$$I_{\max jk} < I_{[X\text{-asennus ja } Y \text{ mm}^2]}$$

D1 taulukko
52.1

>>

25A1

(asennus yksittäisenä tikashyllylle, asennu (taulukko A.52-4)
(lämpötila korjauskerroin)

Jännitteen alenema

$R_{\text{kaapeli}} =$	1,2	Ω
$X_{\text{kaapeli}} =$	0,08	Ω
$s =$	80	m
$I_{\max} =$	48,1	A
$\cos\theta =$	0,9	
$\sin\theta =$	0,4	

>>

$$R_{\text{nousu}} = 0,09283 \quad \Omega$$

$$R \cdot (s/1000) \cdot 0,967$$

$$X_{\text{nousu}} = 0,0064 \quad \Omega$$

$$X \cdot (s/1000)$$

$$\Delta U_{\%} = 1,81 \quad \%$$

$$100/230 \cdot [(R \cdot I \cdot \cos\theta) + (X \cdot I \cdot \sin\theta)]$$

jännitteen alenema on ok

yksivaiheisen kaapelin mitoitus

Max virran laskenta

$P_n =$	3500	W
$\cos\theta =$	0,9	

>>

$I_{max} = 16,9$ A
johtonsyöjä 16

$P_n / (\sqrt{3} \cdot \cos\theta)$
← taulukko B.52-1 ($I_{max} < I_{minjk}$)

Kaapelin valinta

$I_{minjk} =$	18	A
$k_s =$	1	
$k_t =$	0,8	

>>

$I_{maxjk} = 22,5$ A

$I_{maxjk} < I_{[X-asennus ja Y mm^2]}$

>> 2,5cu

D1 taulukko 52.1

(asennus yksittäisenä tikashyllylle, asennusta (taulukko A.52-4) (lämpötila korjauskerroin)

Jännitteen alenema

$R_{kaapeli} =$	7,41	Ω
$X_{kaapeli} =$	0,08	Ω
$s =$	80	m
$I_{max} =$	16,9	A
$\cos\theta =$	0,9	
$\sin\theta =$	0,4	

>>

$R_{nousesu} = 0,57324$ Ω

$R \cdot (s/1000) \cdot 0,967$

$X_{nousesu} = 0,0064$ Ω

$X \cdot (s/1000)$

$\Delta U_{\%} = 3,81$ %

$100/230 \cdot [(R \cdot I \cdot \cos\theta) + (X \cdot I \cdot \sin\theta)]$

jännitteen alenema on ok

Oikosulkulaskelma $230/\sqrt{(R^2+X^2)}$

