

Opinnäytetyö AMK
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitystekniikka
2012

Katja Vastamäki

MUUNTAJAMEKANIIKAN KONSEPTISUUNNITTELU T&K-PROJEKTIN OSANA



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka | Tuotekehitystekniikka

2012 | 61

Pekka Törnqvist

Katja Vastamäki

MUUNTAJAMEKANIIKAN KONSEPTISUUNNITTELU T&K-PROJEKTIN OSANA

Tässä työssä selvitetään muuntajamekaniikan konseptisuunnitteluprojektin kulkua. Projekti suoritettiin Turun ammattikorkeakoulussa osana Turun Koneteknologiakeskuksen luotsaamaa KOMEAT™-hanketta. Projektissa sovellettiin Turun ammattikorkeakoulussa syksyn 2010 aikana tuotekehityskurssilla yliopettaja Veikko Välimaan johdolla kehitettyä T&K-prosessin kaaviomallia.

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella Trafotek Oy:lle K-sarjan muuntajiin standardiosista koostuva mekaniikkaratkaisu. Työhön sisältyi esiselvityksen teko, speksien eli uuden rakenteen reunaehtojen laadinta sekä muuntajan uuden rakenneratkaisun konseptisuunnittelu.

Esiselvityksessä selvitettiin nykyisten rakenneratkaisujen koostuminen ja eri osarakenteiden perusteet, sekä käytiin läpi vuosina 2008–2011 toimitettujen muuntajien teho- sekä kytkentävariantit. Esiselvityksen perusteella projektiin kuuluvaa aluetta rajattiin asiakasyrityksen toimesta. Esiselvitys antoi projektin jatkamiseen tarvittavan tietopohjan ja toi esiin selkeät kehityskohteet sekä mekaniikkarakenneratkaisussa että tuotannon virtautuksessa. Uuden mekaniikkarakenteen reunaehtojen laadinta osoittautui haastavaksi – tuotevarianttien suuri määrä sekä yrityksessä samanaikaisesti käynnissä olevat muut muuntajarakenteen uudistukset saivat aikaan sen, että rajausta ei voinut suorittaa eksaktisti, vaan rajoilla oli liukumaa ja vaihtoehtoisia ratkaisuja.

Muuntajamekaniikan konseptisuunnittelun tuloksena esitetään pelkistetyt rakenneratkaisut, joiden avulla yksilöllisten muuntajarakaisujen valmistamisen sijaan suunnataan tuotannon volyyymi standardiratkaisuihin. Tällöin suunnittelutyö helpottuu ja nopeutuu, alihankintaosien valmistus ja sisäänosto helpottuvat ja tuotantotahti nopeutuu ja täten pystytään paremmin vastaamaan kasvavan kysynnän tuomiin haasteisiin. Uudistettu selkeä rakenneratkaisu parantaisi myös yrityksen työiihtyvyyttä merkittävästi ja tarjoaisi viimeistellyn ulkonäkönsä vuoksi kilpailuetua kasvavilla markkinoilla.

ASIASANAT:

Muuntajat. Konseptisuunnittelu. Mekaniikka.

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical Engineering | Product Development

2012| 61

Pekka Törnqvist

Katja Vastamäki

CONCEPT DESIGN OF TRANSFORMER MECHANICS AS A PART OF R&D PROJECT

This thesis is about a mechanical concept design project of transformers. The project was carried out as a part of the Turku University of Applied Sciences KOMEAT™ project. This mechanical concept design project applied a R&D -process diagram, which was developed at the Turku University of Applied Sciences in autumn 2010 during Product Development Course led by Senior Lecturer Veikko Välimaa.

The aim of the thesis was to design a standardized mechanical solution to K-transformers for Trafotek Ltd. The work included a preliminary survey, determining of the boundary conditions i.e. the specs of the new structure and a concept design of the new solution.

The preliminary study examined the current structures of variable transformer solutions, and it also contains the various criteria of all different parts of a transformer. The preliminary study discusses all the transformer core outputs and switching versions which were submitted in the timeline of 2008–2011. On the basis of this pre-feasibility study the project target area was limited by the client company. The preliminary study provided the necessary knowledge to conduct the project, and highlighted clear development targets in the mechanical structure as well as in the streaming of the production. Determining the boundary conditions for the new mechanical structure proved to be quite challenging – a large number of product variants and simultaneous mechanical structure reforms e.g. transformer core modifications made the demarcation ambiguous with alternative solutions.

As a result of the concept design process of transformer mechanics, simplified design solutions were presented. New solutions direct the production volume to standard solutions instead of unique ones. With the new structure, mechanical design in the production chain becomes easier and faster, and sub-manufacturing and purchase of subcontract parts is easier. Faster production rates are reached and thus the company is better able to respond to the challenges of growing demand. The revised and clear structure would also improve job satisfaction significantly, and the finished appearance would provide clear competitive advantage in emerging markets.

KEYWORDS:

transformer. concept design. mechanics.

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 ORGANISAATIOT	8
2.1 Turun ammattikorkeakoulu	8
2.2 Trafotek Oy	9
2.3 Koneteknologiakeskus Turku Oy	9
3 PROJEKTIN KULKU	10
3.1 T&K-prosessi	11
3.2 Projektin pohjatiedon hankinta	11
4 MUUNTAJA	13
4.1 Toimintaperiaate	13
4.2 Rakenne	14
4.3 Kytkenät	16
4.3.1 Erikoiskytkennät	17
4.3.2 Jännitteen säätö	17
5 ESISELVITYS	18
5.1 Työmenetelmät sekä esiselvitysalueen raja	18
5.2 Nykyiset mekaniikkaratkaisut	19
5.2.1 Sydänkoot mitoituksen perusteena	20
5.2.2 Yleistyökuvat	20
5.2.3 Lämpötila	23
5.2.4 Sähkölaitteiden kotelointiluokat eli IP-luokat	23
5.2.5 Tarkastus ja testaus	24
5.2.6 Kuljetus	24
5.2.7 Valmistusvaiheet tuotannossa – tuotannollisuusnäkökohtia	25
5.3 Toimitettujen muuntajien yleisimpien runkotehojen ja jännitteiden selvittäminen vuosina 2008–2011	29
5.4 Yrityksen visiot	30
6 SPEKSIT	31
6.1 Yleisiä perusteita	31

	5
6.2 Dimensiot	32
6.3 Mekaniikkaosat	32
6.4 KytKentä	34
6.5 Muut huomioitavat tekijät	34
7 KONSEPTISUUNNITTELU	38
7.1 Määrittely	38
7.2 Konseptin kehittämisperusteet	39
7.3 Mekaniikkarakenteen jako toiminnallisiin moduuleihin	40
7.4 Konsepti	41
7.4.1 Nostaminen	44
7.4.2 Siderauta	46
7.4.3 KytKentämoduuli	51
8 PROJEKTIN JATKUMINEN – OHJEISTUS MEKANIKKASUUNNITELUUN	57
9 YHTEENVETO	58
LÄHTEET	60

KÄYTETYT LYHENTEET

T&K	Tuotekehitys
R&D	Research and Development
KOMEAT™	Kone- ja metalliteknologia-alan pienet T&K-projektit [17].
TKI	Tutkimus, kehitys & innovaatio
LEAN-järjestelmä	Toiminnanohjausjärjestelmä (ERP). Yrityksen tietojärjestelmä, joka ohjaa yrityksen toimintaa. Toiminnanohjausjärjestelmän tehtävä on toimia yrityksen ydinjärjestelmänä, joka kokoaa tiedon yhteen paikkaan yrityksen muista pienemmistä ohjelmistokokonaisuuksista. [28.]
ERP	Enterprise Resource Planning. Toiminnanohjaus. [27.]
kVA	Kilovolttiampeeri. Muunnos: 1 kVA = 0,8 kW [29.]
MVA	Megavolttiampeeri [29].
FMS-järjestelmä	Flexible Manufacturing System. Joustavaa valmistusjärjestelmä, joka rakentuu automaattisen varaston ympärille sijoitetuista työstökeskuksista tai muista työlaitteista. [30.]
KTK	Koneteknologiakeskus Turku Oy
DFM	Design for Manufacturing. Tuotteen valmistettavuus. [31.]
DFA	Design for Assembly. Kokoonpantavuus. [31.]
UCPCD	User-centered product concept design. Käyttäjäkeskeinen konseptisuunnittelu. [20.]

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Turun ammattikorkeakoulussa osana Koneteknologiakeskus Oy Turun luotsaamaa KOMEAT™-hanketta. Hankkeen tavoitteena on tarjota lähialueen yrityksille apua pienissä kehittämishankkeissa tai laajemmissa tutkimus- ja kehitysprojekteissa, yrityksen tarpeiden mukaisesti. KOMEAT™-hankkeen toteutus-strategian mukaisesti kehitystyön rahoituksesta vastaa asiakasyritys. Ammattikorkeakoulun tehtävä on opiskelijoiden osallistumisesta sekä ohjauksesta vastaaminen. Hankkeessa yhdistetään tutkimus- ja kehitystyö, palvelun tuottaminen ja opetus ja on siksi hyvä esimerkki ammattikorkeakoulun innovaatiopedagogiikan soveltamisesta käytännössä. [17.]

Opinnäytetyö on osa projektia, jonka tavoitteena on parantaa Trafotek Oy:n K-sarjan muuntajien valmistettavuutta sekä parantaa tuottavuutta tekemällä muuntajavalmistuksesta moduulipohjaista. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi T&K-projektissa huomioidaan vahvasti tuotteen valmistettavuus (DFM) ja kokoonpantavuus (DFA), sekä sovelletaan käyttäjäkeskeisen konseptisuunnittelun periaatetta.

Moduulirakenteeseen siirtyminen aiheuttaa yksittäisten mekaniikkaosien kallistumista, mutta samanaikaisesti tuotteen kokonaisvalmistuskustannukset laskevat. Kustannusten laskennassa on otettava huomioon alihankinnan yksinkertaistumisen sekä toimintojen integroinnin aiheuttama suunniteltavien, ostettavien, kuljetettavien ja varastoitavien nimikkeiden kokonaismäärän vähenemisen aiheuttamat säästöt. Rakenteen yksinkertaistumisen aikaansaama kokoonpanotyön helpottuminen nopeuttaa tuotannon läpimenoaikaa ja mahdollistaa tuotantokapasiteetin kasvun.

2 ORGANISAATIOT

2.1 Turun ammattikorkeakoulu

Turun ammattikorkeakoulu on Varsinais-Suomessa sijaitseva 9500 opiskelijan oppilaitos. Turun ammattikorkeakoulussa kehitetään maakuntaa tukevaa monialaista oppimista, jossa korostuu etenkin tutkimus- ja kehitystoiminta.

Ammattikorkeakoulujen tehtävänä on tuottaa työelämän tarvitsemaa ammatillista osaamista sekä innovaatioita. Turun ammattikorkeakoulun kehittämä innovaatiopedagogiikka kuvaa ammattikorkeakoulujen toimintaa ja vaikuttamista alueellisissa osaamisverkostoissa. Toimintamallissa korkeakouluopetukseen yhdistetään asiakastarpeisiin sopiva soveltava tutkimus- ja kehitystoiminta sekä aluekehityksen että työelämässä syntyvien innovaatioiden tukemiseksi. [16; 15.]

Turun ammattikorkeakoulu tekee monipuolista yhteistyötä Varsinais-Suomen yritysten ja yhteisöjen kanssa. Työelämän yhteistyökumppaneiden kanssa toteutettavia projekteja käynnistetään vuosittain yli 100 kpl. [14.] Koneteknologiakeskus Oy tarjoaa käytännön puitteet monien projektien toteuttamiselle. Esimerkkinä Turun ammattikorkeakoulun innovatiivisesta oppimismallista on myös Koneteknologiakeskuksessa järjestettävä käyttöinsinöörikoulutus, jonka tarkoituksena on tuottaa valikoiduista koneinsinööriopiskelijoista modernit valmistusmenetelmät tuntevia asiantuntijoita. Koneteknologiakeskus Oy esitellään tarkemmin luvussa 2.3. [1.]

2.2 Trafotek Oy

Trafotek Oy Kaarinassa on keskittynyt tehomuuntajien valmistukseen. Yrityksen erityisosaamisalueita ovat vaativat muuntajaratkaisut, sähkön laatua parantavat sovellukset sekä telakkateollisuuden ratkaisut. Tällä hetkellä Trafotek Oy:n tuotantolaitoksia on Suomessa, Virossa ja Kiinassa. Työntekijöitä Suomessa on noin 250. [2.]

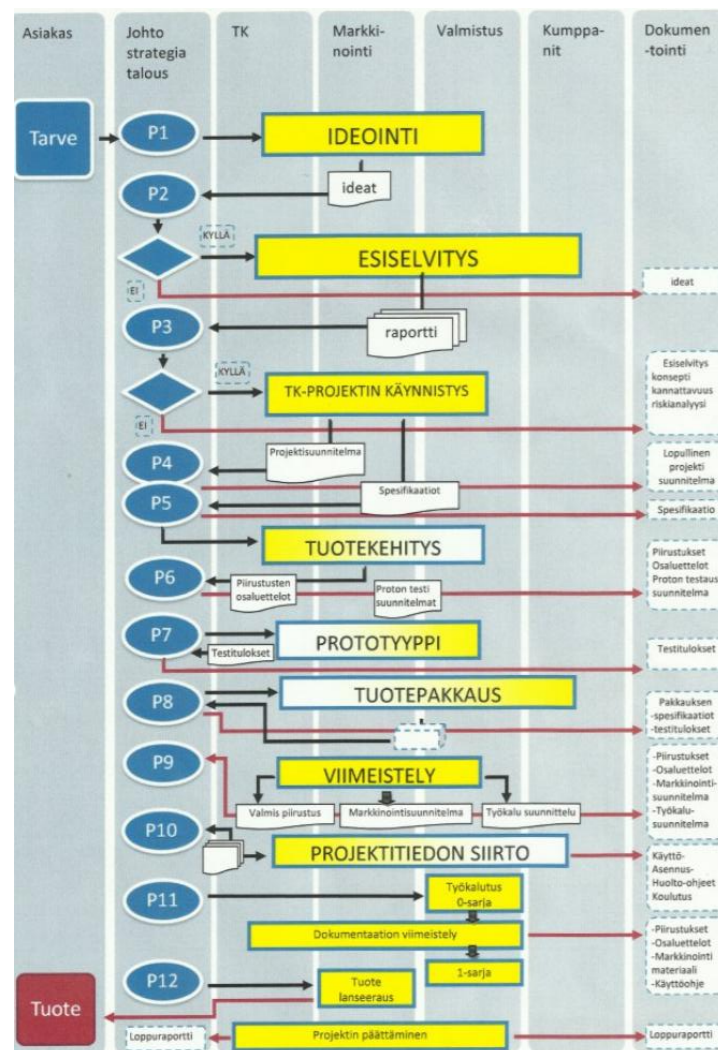
Yrityksessä valmistetaan kuivamuuntajia tehoalueella 1 kVA–8 MVA. Enimmäkseen tuotteet ovat matala- ja keskijännitteisiä ja niiden mekaaniset ratkaisut ovat yksilöllisesti ja tapauskohtaisesti asiakkaan tarpeiden mukaan räätälöityjä. [2.]

2.3 Koneteknologiakeskus Turku Oy

Koneteknologiakeskus Turku Oy on Turun kaupungin, Turun aikuiskoulutuskeskuksen sekä Teknologiateollisuus ry:n omistama kehitysyhtiö, joka on perustettu v. 2005. Koneteknologiakeskus on uuteen teknologiaan keskittyvä koulutus- ja kehittämiskeskus jonka osa-alueita ovat levytyökeskus, robottisärmäysosuus sekä hitsausrobottisolu sekä FMS-järjestelmä. KTK tarjoaa alueen yrityksille sekä Turun aikuiskoulutuskeskukselle, Turun ammatti-instituutille sekä Turun AMK:lle tilat ja laitteet henkilöstön sekä oppilasryhmien koulutusta varten. Yrityksille tarjotaan KTK:n kautta mahdollisuus T&K-toimintaan sekä pieniin toimeksiantoihin ja lopputöiden teettämiseen. [1.]

3 PROJEKTIN KULKU

Tässä työssä sovelletaan Turun ammattikorkeakoulussa yliopettaja Veikko Välimaan johdolla kehitettyä TK-prosessin kaaviomallia. (Kaavio 1). Tuotekehitys-prosessi on kehitetty ROCKET Turku -osaprojektissa, joka on osa metalli- ja koneteknologia-alan innovaatiotoimintaa ja kansainvälistymistä tukevien verkostojen ja rakenteiden kehittäminen suomalaisiin korkeakouluihin -projektiä. ROCKET-projektin rahoittaja on Euroopan aluekehitysrahasto. Opinnäytetyö käsittää TK-prosessikaavion vaiheet P2–P5.



Kaavio 1. TK-prosessin malli.

3.1 T&K-prosessi

Trafotek Oy:ltä saadaan toimeksianto muuntajamekaniikan kehittämisestä. Tero Reunanen, Turun ammattikorkeakoulun Teknologiateollisuus TKI-tiimin vetäjä, laatii projektin johdon ominaisuudessa kokonaisprojektille strategian sekä projektisuunnitelman.

Projekti aloitetaan esiselvityksellä. Esiselvitys tarkastetaan projektin johdon sekä asiakasyrityksen toimesta. T&K-projekti käynnistetään. Laaditaan speksit, joita uuden tuotteen on myötäiltävä. Asiakasyritys sekä projektin asettaja tarkastavat spesifikaatiot.

Tuotekehitysvaiheessa laaditaan uusien mekaniikkaratkaisujen konseptisuunnitelmat ja 3D-mallinnetaan mekaniikkaratkaisu Solid Worksilla. Konseptisuunnitelmat tarkastetaan johdon ja asiakasyrityksen yhteisessä palaverissa, jossa valitaan ratkaisut detaljisuunnittelun pohjaksi. Tämä opinnäytetyö päättyy toimeksiannon laatimiseen opiskelijoille, jotka suorittavat detaljitason mekaniikka-suunnittelun.

3.2 Projektin pohjatiedon hankinta

Muuntajatekniikkaan ja -teoriaan perehdyttiin kirjallisuuden avulla ennen esiselvityksen aloittamista. Trafotek Oy:n muuntajien nykyiset runkoteho- ja jännitealueet selvitettiin tutkimuksessa, jossa selvitettiin vuosina 2008–2011 toimitettujen muuntajien teho- ja jännitevarianttien jakauma säätoineen. Selvityksen pe-

rusteella yrityksessä voidaan valita yleisimmin toimitetut teholuokat muuntajarakenteen standardoinnin pohjaksi.

Esiselvityksessä kartoitettiin tuotteen nykytilanne yrityksen tietokantojen pohjalta, Lean-järjestelmästä, sekä eri työntekijäryhmien edustajia haastatteleamalla ja tuotantoa seuraamalla. Yrityksen eri henkilöstöryhmiltä tiedusteltiin heidän tarpeitaan, toiveitaan ja mahdollisesti havaitsemiaan epäkohtia sekä tuotteessa että tuotannossa. Näin löydettiin tuotantoperusteisia kehityskohteita, jotka huomioitiin konseptisuunnittelussa tuotantoteknisten sekä visuaalisten seikkojen lisäksi. Edellä mainituilla perusteilla laadittiin konseptisuunnitelma muuntajarakenteesta, joka perustuu uusiin mekaniikkaosiin, jotka sopisivat mahdollisimman laajasti käytettäviksi KT-alueen muuntajissa.

4 MUUNTAJA

Muuntaja on laite, joka muuttaa vaihtosähkön jännitteen tai virran toiseksi samantajuiseksi virraksi tai jännitteeksi. [3]. Mekaaniselta rakenteeltaan muuntajat ovat yksinkertaisia, koska ne eivät esimerkiksi sisällä lainkaan liikkuvia osia.

4.1 Toimintaperiaate

Muuntajan rakenteen toimivuus perustuu magneettiseen piiriin, jossa sydämen ympärille on käämitty erilliset ensiö- ja toisiokäämitykset. Tällaista rakennetta kutsutaan kaksikämirakenteeksi. [4.] Muuntajan toiminta perustuu ensiökäämiin syötettävään vaihtosähköön, joka saa aikaan muuttuvan magneettivuon rautasydämeen, josta se indusoituu toisiokäämiin. [5].

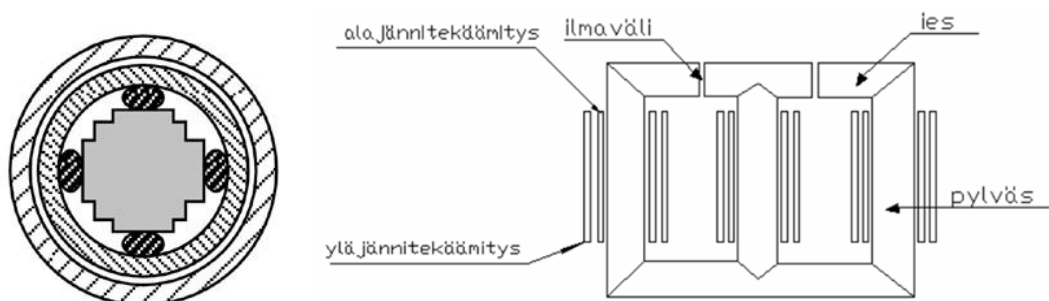
Tehomuuntajat voidaan jakaa kahteen ryhmään: jakelu- eli pientehomuuntajiin ja suurtehomuuntajiin. Edelliseen ryhmään kuuluvat muuntajat, joiden yläjännitepuolen nimellisjännite on $U_{1n} \leq 20\,000\text{ V}$ ja alajännitepuolen nimellisjännite $U_{2n} 400\text{ V}$ sekä teho $S_n \leq 3150\text{ kVA}$. Tätä suuremmat nimellisjännitteiset ja -tehoiset muuntajat luetaan suurtehomuuntajiin. Rakenne- eli tyyppiteho määrää muuntajan fyysisen mitoituksen. [6.]

4.2 Rakenne

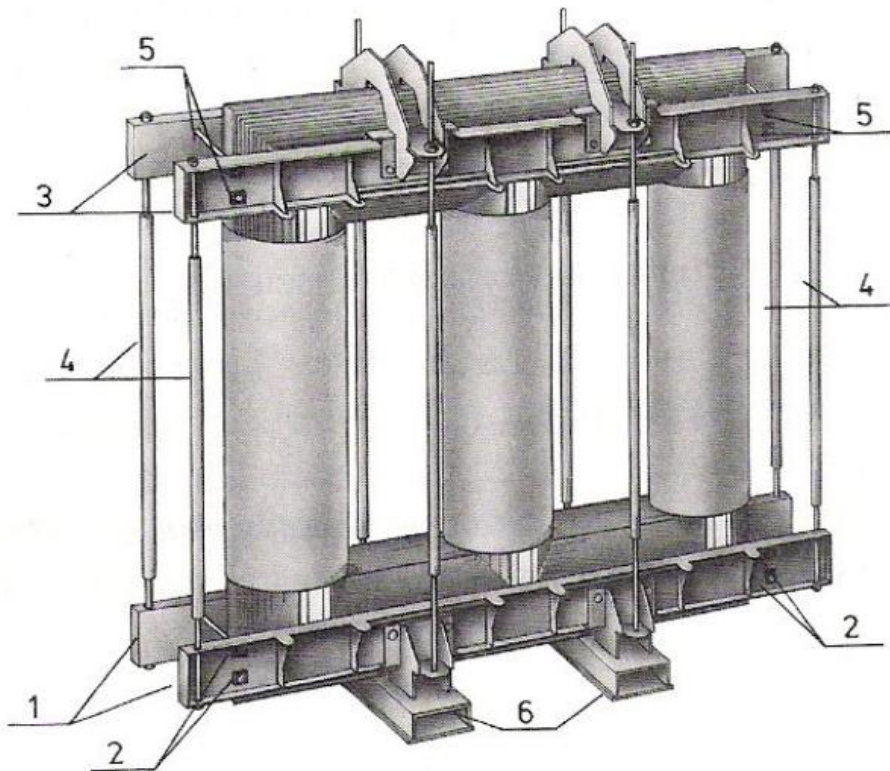
Muuntajan toiminnalliset osat ovat ensiö- ja toisiokäämit sekä rautasydän. Nämä suorittavat muuntajan varsinaisen tehtävän. Käämit ovat yleensä eristettyä kuparia tai alumiinia, muotolankana tai levy muodossa. Passiivisia osia ovat mekaniikkaosat kuten tukirakenteet, eristimet ja jäähdytyslaitteet. [5.]

Muuntajan sydämen tehtävänä on siirtää magneettivuo käämien välillä mahdollisimman tehokkaasti. [5]. Sydän valmistetaan latomalla useita suunnatusta muuntajalevystä eli rainasta leikattuja ohuita levyjä päällekkäin. Rainan paksuus on tyypillisesti 0,28...0,35 mm. [8.] Yleisiä käytettäviä sydänmateriaaleja ovat laminoitu rauta eli niin sanottu muuntajateräs, ferriitti ja amorfinen rauta. [4].

Rautasydän rakentuu pylväistä ja niitä yhdistävistä ikeistä, jotka muodostavat suljetun magneettipiirin (Kuva 1). Pylväiden ja ikeiden välisen sauman kulma on 45° . Sauman kulman ansiosta magneettivuo saadaan kulkemaan valssausuunnassa, jolloin tehohäviöt tulevat mahdollisimman pieniksi. Kuvassa 2 nähdään muuntajan sydämen sekä käämien rakenneosat. [5.]



Kuva 1. Vasemmalla leikkauskuva muuntajan pylvästä: Sisimpänä rainasta ladottu sydämen pylväs, ulkokehällä käämi. [8]. Oikealla yleisin muuntajarakenetyyppi, kolmivaiheinen sydänmuuntaja rakenneosineen. [7].



Kuva 2. Muuntajan rakenne. 1) Puristuspaalkit I. sideraudat, 2) Siderautojen puristusruuvit 3) Yläsideraudat 4) Käämien kiristyspultit 5) Siderautojen puristusruuvit 6) Pohjapalkit I. jalat. [9.]

Muuntajan rakenteellisia perusosia ovat:

- 1) Käämien ulosotot
- 2) Nollakisko
- 3) ± 5 % säädön eli jännitesäädön kytkentäliuskat
- 4) Puristuspaalkit eli sideraudat (alhaalla sekä ylhäällä)
- 5) Siderautojen puristusruuvit
- 6) Nostosilmukat
- 7) Käämien kiristyspultit (pystysuuntaiset kierretangot)
- 8) Pohjapalkit I. jalat
- 9) Lisälaitteet ja varusteet
 - a. Ilmankuivain I. puhallin
 - b. Lämpömittari
 - c. Pyörät
 - d. Kotelo

[9.]

4.3 Kytkenät

Kolmivaihemuuntajan vaihekäämit kytketään joko tähti-, hakatähti- tai kolmiokytkennällä. Tähti- ja kolmiokytkentää käytetään sekä ylä- että alajännitekäämityksessä ja hakatähtikytkentää vain jakelumuuntajan alajännitekäämityksessä. Näistä kytkennöistä on muodostettu kolmivaihemuuntajien standardoidut kytkennät. (Kuva 3.) [10.]

TUNNUSLUKU	KYTKENTÄ	OSOITINKUVAT		KYTKENNÄT	
		YJ	AJ	YJ	AJ
0	Dd0				
	Yy0				
	Dz0				
5	Dy5				
	Yd5				
	Yz5				
6	Dd6				
	Yy6				
	Dz6				
11	Dy11				
	Yd11				
	Yz11				

Kuva 3. Muuntajan yleisimmät standardoidut kytkennät. Suomessa yleisimmin käytössä olevat kytkennät rajattu. [13.]

Kytkentää ilmaisevien tunnuskirjaimien merkitykset ovat seuraavat:

- 1) Y = yläjännitekäämitys tähtikytkennässä
- 2) D = yläjännitekäämitys kolmiokytkennässä
- 3) y = alajännitekäämitys tähtikytkennässä
- 4) d = alajännitekäämitys kolmiokytkennässä
- 5) z = alajännitekäämitys hakatähtikytkennässä
- 6) N = yläjännitekäämityksen nollapiste käytettävissä
- 7) n = alajännitekäämityksen nollapiste käytettävissä
- 8) III; iii = avoin, kytkemätön kolmivaihekäämitys

[10.]

Iso kirjain tarkoittaa suurimman jännitteen käämitystä, pienet kirjaimet pienemmän. Tähti- tai hakatähtikäämityksen liittimelle tuotu tähtipiste merkitään kirjaimella N tai n käämityksen kirjainsymbolin jälkeen. Säästökytkentä merkitään kirjaimella a. [13.]

4.3.1 Erikoiskytkennät

Säästömuuntajassa (Ya) on yhteinen ensiö- ja toisiokäämi. Säästömuuntajalla voidaan toteuttaa jännitteensäätömuuntaja. Säästömuuntajissa on yksi tai useampi väliulosotto tai liukukosketin. Säästömuuntajan rakennetehto ilmoittaa, kuinka suurta kaksikämmimuuntajaa säästömuuntaja vastaa. [12.]

Erikoisrakenteisella 3/2-vaihekytketyllä muuntajalla normaali kolmivaiheinen symmetrinen jännite muunnetaan kaksivaiheisia kuormituksia varten kaksivaiheiseksi symmetriseksi jännitteeksi. [18].

4.3.2 Jännitteen säätö

Muuntajien jännitettä on pystyttävä säätämään. Jännitteen säätö suoritetaan muuntosuhdetta muuttamalla, käyttämällä joko väliotto- tai käämikytkintä. Väliottokytkimellä jännitettä voidaan säätää ainoastaan, kun muuntaja on jännitteetön. Jännitteellisen ja kuormitetun muuntajan muuntosuhdetta voidaan muuttaa käämikytkimellä. Käämikytkimiä käytetään jännitteen säätöön suurmuuntajissa joiden tehoa ei voida katkaista. Jännitteen säädöt näkyvät muuntajan tunnusmerkinnöissä prosentteina, esimerkiksi $20\ 000 \pm 5\ \%$. [10.]

5 ESISELVITYS

Esiselvityksessä määritellään nykyinen tuote sekä selvitetään tuotteen rakennekonsepti ja tuotantomenetelmät. Esiselvityksessä selvitetään mitä osia ja toimintoja rakenne sisältää. Tällä perusteella saadaan selville mekaniikkaosien funktiot, osien liittyminen muuhun rakenteeseen sekä osien ja toimintojen vaatimat tilantarpeet. Esiselvityksellä hankitulle tietopohjalle rakentuvat uuden tuotteen määrittely sekä konseptisuunnitelmat.

5.1 Työmenetelmät sekä esiselvitysalueen rajaus

Tietoa haettiin enimmäkseen Trafotek Oy:n toiminnanohjausjärjestelmästä, Leanista. Trafotek Oy antoi esiselvitysalueen rajausehdot. Nimikkeen tunnus oli oltava alueella 22 000–25 000, muuntajatyyppejä KT-muuntaja. Tarkasteltavaksi aikajana-ksi asetettiin 2008–2011. Tutkittava alue käsittää myös keskijännitteiset muuntajat, jotka tunnistetaan nelinumeroisesta kooditunnuksesta. Teho määrittää tuotealueen (KT/PT). KT-alueen tehot ovat välillä 100–360 kW.

Muuntajien luokittelu perustuu standardisydämiin, joiden ympärille on rakennettu erilaisia mekaniikkaversioita yksilöllisesti asiakkaan toiveiden ja tarpeiden mukaisesti. Alueeseen kuuluvat sydänmallit ovat KT-620, KT-621, KT-630, KT-640, KT-641, KT-650, KT-651, KT-660, KT-661, KT-670, KT-671, KT-6200, KT-6300, KT-6400, KT-6500.

Jokainen muuntajatoimitus on oma tuotevarianttinsa, jolle on oma yksilöllinen numeronsa. ”Nimike” on siis tietyn sydämen yksi tuoteversio, eikä yleistä, toistettavaa mallia ole. Kokonaiskäsitksen saaminen tuotevarianteista oli haasteellista, koska jokainen muuntaja on räätälöity yksilöllisesti asiakkaan tilauksen mukaan, jolloin yleispätevän, kaikkien versioiden valmistamiseen sopivan yhden mekaniikkaratkaisun hahmottaminen on erittäin haastava tehtävä. Valmistettuja erilaisia muuntajamalleja on tähän mennessä noin 25 000 kpl. [19.]

Esiselvitysvaiheessa tutkittiin, millaisia muuntajaversioita eri sydänmalleilla on tehty, versioiden eroavuutta toisistaan ja muilla sydämillä tehdyistä varianteista. Tarkemmin tutkittiin yleisimmin toimitetuilla sydämillä tuotetut versiot, sekä niiden kokoonpano- ja kytkentäosien eroavuus toisistaan. Toimitetuista muuntajista etsittiin yleisimmät eri runkotehoilla tehdyt versiot, niiden ensiö- ja toisiojännitevariantit, sekä tutkittiin säädettyjen mallien osuus perusversioista. Näillä perusteilla löydettiin yleisimpiä toimitettuja versioita ajalla 2008–2011. Sama haku suoritettiin myös rajattuna kuluneen vuoden tietoihin, jotta saatiin käsitys tilanteen mahdollisesta muutoksesta verrattuna pitempään tarkastelujanaan. Yleisyysperiaatteella tarkempaan tarkasteluun otettiin pääasiallisesti sydämet KTK-641 sekä KTK-671.

5.2 Nykyiset mekaniikkaratkaisut

Lean-järjestelmästä suoritettiin haku valittujen sydänmallien KTK-641 sekä KTK-671 sisällä, jolloin löydettiin kaikki kyseisellä sydämellä valmistetut muuntajat. Muuntajan nimikkeen tunnuksen perusteella haettiin kyseisen toimituksen tekniset tiedot ja osat piirustuksineen vertailua varten.

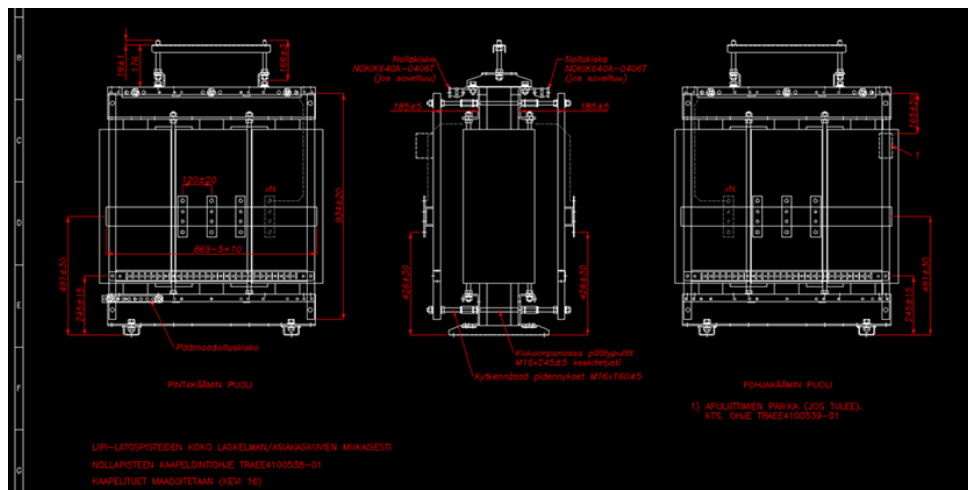
5.2.1 Sydänkoot mitoituksen perusteena

Sydämen fyysinen koko eri muuntajaversioilla vaihtelee. Tämä luonnollisesti vaikuttaa mekaniikkaosien mitoitukseen. Jokaiselle sydänmallille on laadittu mittalehdet, joista suunnitteluvaiheessa tarkastetaan kyseisen sydämen dimensiot. Mittalehden perusteella sydän sekä muuntajan mekaniikkaosat saadaan mitoitettua.

5.2.2 Yleistyökuvat

Yleisimpiin muuntajan sydänmalleihin on tehty suunnittelutyön helpottamiseksi yleistyökuvia (Kuva 4). Yleistyökuvista nähdään peruskomponentit, kiinnitykset, eri kytkentävaihtoehdot ja rakenteen mitat, sekä osien sijoittuminen rakenteeseen pääpiirteittäin. Kuvat ovat CAD-muodossa, joten käytännössä kuvien hahmottaminen, uusien versioiden suunnittelu ja piirustusten päivittäminen joka variantin yhteydessä ei ole nopeaa saati helppoa. Kokoonpanokuvat sekä yksittäisten osien kuvat on haettava erikseen Leanista tarkastelua ja muokkausta varten. CAD-muodossa olevat mekaniikkaosien piirustukset eivät käytännössä helpota työtä, koska etsittäessä uuteen muuntajaan mahdollisesti sopivaa, aiemmin suunniteltua osaa, on kahlattava läpi useita CAD-kuvia ja yritettävä hahmottaa sopisiko joku niistä työn alla olevaan muuntajaan. Käytännössä tämä johtaa siihen, että jokaiseen muuntajaan suunnitellaan mekaniikkaosat uudestaan, koska se on nopeampaa kuin soveltuvan vanhan osan löytäminen suuresta massasta vanhoja osia.

CAD-kuvien pohjalta on alettu mallintaa osia sekä kokoonpanoja Solid Works -ohjelmalla 3D-muotoon, joten tilanne on siltä osin vähitellen korjaantumassa. Haastetta aiheuttavat kuitenkin osien monimutkaiset nimeämisperiaatteet. Miten löytää satojen tiedostojen joukosta osa, joka on muunneltu juuri vastaavasti nykyiseen tarpeeseen?



Kuva 4. KTK-641+-000_LL_AA, sydänmalli 641, lanka-lanka-kytkentä alhaalta molemmin puolin.

Yleiskuvan termien tulkinta tapahtuu seuraavasti: Alussa oleva esim. KTK-641 merkitsee sydämen versiota. Seuraavat kirjaimet symboloivat kytkentää, L = lankakytkentä ja F = kytkentä foliolla. Viimeiset kirjaintunnukset merkitsevät kytkentöjen sijaintia. AA = Kytkentä alhaalta, kaksi perättäistä kirjainta tarkoittaa kytkentää molemmin puolin. Y = Kytkentä ylhäältä, yksi kirjaintunnus tarkoittaa kytkentää vain yhdeltä puolelta muuntajaa.

Jokaisesta toimitetusta muuntajasta on laadittu tekninen lomake (Kuva 5), josta ilmenee mm. suunnittelun pohjana käytetyn yleistyökuvan tunnus, koteloitimi- eli IP-luokka, muuntajan kokonaismitat, kytkentätapa, kytkentöjen sijainnit sekä lisälaitteet. Vastaavasti selvitettiin kussakin toimitetussa muuntaja versiossa

olleet lisälaitteet, jotta voitiin hahmottaa yleisesti tarvittavien lisälaitteiden määrä jatkossa tarvittavien asennuspaikkojen luomista varten. Mahdollisten lisälaitteiden tunnuksien kuvassa 6.

ENCLOSURE

<i>Protection degree</i>	IP00 for indoor use.
<i>Construction</i>	-
<i>Surface finishing</i>	-
<i>General arrangement drawing</i>	B0810025B
<i>Overall dimensions [WxDxH]</i>	About 744 x 400 x 850 mm
<i>Cable direction</i>	HV and LV on the opposite side of the transformer
<i>Cable entry, primary</i>	From the top of the transformer.
<i>Cable entry, secondary</i>	From the top of the transformer.
<i>Cable gland, primary</i>	-
<i>Cable gland, secondary</i>	-

ACCESSORIES

<i>Auxiliary connection box</i>	-
<i>Earthed screen between windings</i>	Yes, material: copper
<i>Temperature control</i>	17 x PT100
<i>Stand still heaters</i>	-

Kuva 5. KTK-584, 22291 vaihemalli 21761 lisälaitteet sekä ominaisuudet.

ACCESSORIES

P5010	<i>Auxiliary connection box</i>
P5020	<i>Earthed screen between windings</i>
P5030	<i>Temperature control for windings</i>
P5040	<i>Temperature control for core</i>
P5050	<i>Air temperature sensor</i>
P5060	<i>Local temperature display</i>
P5070	<i>Vibration dampers</i>
P5080	<i>Stand still heaters</i>
P5090	<i>Earthing balls</i>
P5100	<i>Air locks</i>
P5110	<i>Starter unit for fan motors</i>
P5120	<i>Premagnetizing system</i>

Kuva 6. Lisälaitetunnuksien merkitykset.

5.2.3 Lämpötila

Jokainen muuntaja on yksilöllisesti mitoitettu siten, että sitä voidaan jatkuvasti kuormittaa sille määritetyllä teholla, määritetyissä olosuhteissa. Maksimi sallittu lämpötilavaihtelu on 40 °C, tai se, joka on erikseen mainittu tyyppikilvessä. Muuntajan lämpöluokka on F tai H. Muuntajan lämpötila ei saa missään olosuhteissa ylittää F luokassa 155 °C ja H luokassa 180 °C. Rakenteissa käytettävien materiaalien lämmönsietokyky on täten oltava sallitulla alueella.

Lämpötilan hallinnassa on huomioitava jäähdytystarpeet. Jotta voitaisiin taata, että muuntaja toimii täydellä teholla, on muuntajan tuottama lämpö poistettava tehokkaasti. Yleisperiaate ilmanvirtaukselle on 5 m³/min jokaista muuntajan häviö kW:a kohden. Jäähdytys suoritetaan AN = Air natural, AF = Air Forced tai AFWF = Water Forced.

5.2.4 Sähkölaitteiden kotelointiluokat eli IP-luokat

Kotelointiluokka ilmaisee, onko muuntaja toimitettu ilman koteloita vai koteloituna, millaisella suojausluokituksella muuntaja on valmistettu ja onko se tarkoitettu sisä- vai ulkokäyttöön. IP-luokka on kaksinumeroinen koodi, joka kuvaa sähkölaitteen ulkokuoren kykyä suojata ympäristöä laitteen sisäosissa olevilta vaaratekijöiltä, kuten jännite ja laitteen liikkuvat osat, sekä toisaalta laitteen arkoja osia ympäristössä olevalta liialta, pölyltä tai vedeltä. IP luokitus on standardoitu sähkölaitteiden turvallisuutta koskeva luokitus SFS-EN 60529+A1, ja se koskee kaikkia sähkölaitteita kuten esimerkiksi muuntajia, sähkömoottoreita, sähkö-

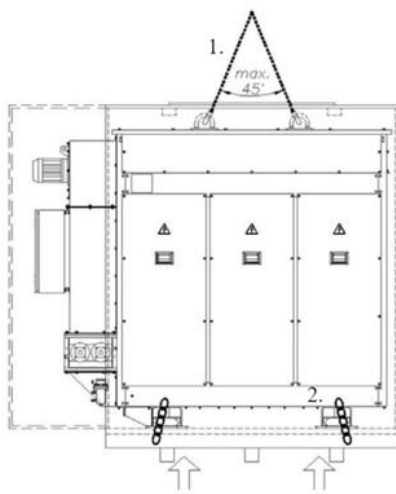
kaappeja sekä valaisimia. [22.] KT-sarjan muuntajien IP-luokka on välillä IP23–IP54 tilauksesta riippuen. Kotelottoman muuntajan IP-luokka on IP 00.

5.2.5 Tarkastus ja testaus

Muuntajat tarkastetaan ja testataan Trafotek Oy:n omissa tiloissa. Jokainen muuntaja koestetaan ennen toimitusta. Muuntajan pitää olla suunniteltu, rakennettu ja testattu IEC-standardien mukaisesti.

5.2.6 Kuljetus

Muuntajan kuljettaminen ja liikuttelu tuotannon aikana tapahtuu nostolenkeistä tai sideraudasta koukuilla nostamalla, tai vaihtoehtoisesti lavalla. Asennuspaikalle kuljettaminen tapahtuu lenkeistä nostamalla kuvan 7 mukaisesti.



Kuva 7. Muuntajan nostaminen.

5.2.7 Valmistusvaiheet tuotannossa – tuotannollisuusnäkökohtia

Muuntajan valmistusvaiheet tuotannossa ovat pääasiassa manuaalisia työvaiheita. Muuntajan käsittely ja nostot suoritetaan koneellisesti. Tuotannon työvaiheita ovat sydämen ja käämien valmistus, muuntajan hartsaus, kytkentä sekä valmiin muuntajan koestus ja testaus. Seuraavaksi esitellään edellä mainitut valmistusvaiheet pääpiirteittäin, järjestyksessä, jossa ne tuotannossa suoritetaan.

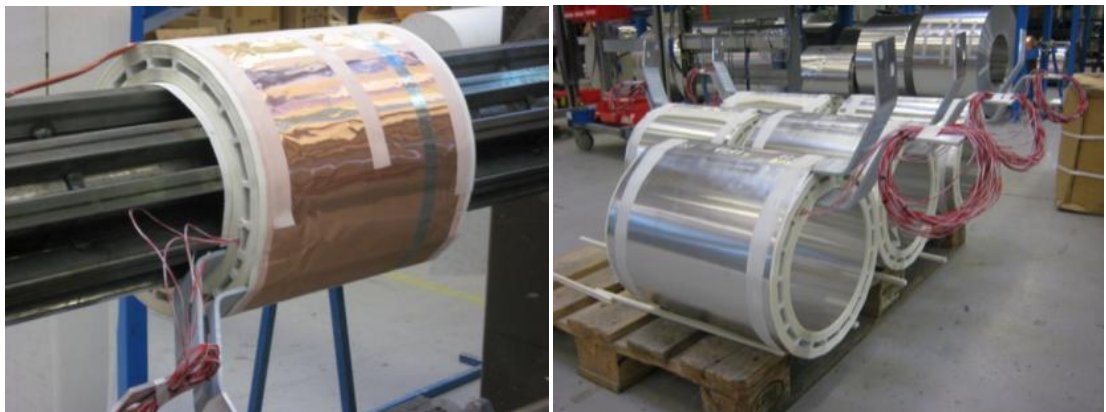
Muuntajan valmistaminen aloitetaan sydämen ladonnalla. Sydämen valmistus aloitetaan leikkaamalla sydämessä käytettävät rainat koneellisesti. Määrämitaan katkotut rainanpalat ladotaan robotilla sydämeksi jigiin asetetun sideraudan päälle. (Kuva 8). Robotin toleranssiksi on jätetty noin 1 mm, tämä epätarkkuus rainapinon reunoissa tasataan lopuksi käsivaraisesti vasaralla.



Kuva 8. Robotin latomat rainat muodostavat pakan eli sydämen. Pakan alla vasemmalla näkyy siderauta. Ladonnan jälkeen reunat tasoitetaan vasaroimalla. Tasoituksen jälkeen pakka sidotaan kiinnittämällä päällimmäinen siderauta.

Sydämen reunojen tasoittaminen on manuaalinen ja hidas työvaihe, jota varten sydänpakka siirretään robotilta pumppukärryllä toiseen työpisteeseen. Vaiheen suorittaminen robotilla tarvittavaan toleranssiin olisi tuotantoprosessia jouduttava satsaus – robottihan on jo hankittu ja epäilemättä kykenee oikein ohjelmoituna sijoittamaan rainat kohdilleen, jolloin ihmisvoimin tapahtuvaa viimeistelyä ei tarvittaisi. Sydämen reunojen tasoituksen jälkeen pakka sidotaan toisella, edellisen sideraudan päälle tulevalla sideraudalla.

Käämi valmistetaan kiertämällä käämimateriaalia tuurnan ympärille. Käämimateriaalina käytetään joko kuparia tai alumiinia, alajännitekäämissä pienissä muuntajissa kaksikerroksisista muotolankakäämiä ja suurissa muuntajissa foliokäämiä. Yläjännitekäämi tehdään yleensä pieniä virtoja varten monikerroskääminä joko muoto- tai pyörölangasta. Kerrosten välillä eristeenä käytetään paperia. Suuria virtoja varten yläjännitekäämi tehdään muotolangasta levyvyhtikääminä. Ylä- ja alajännitekäämien välissä on eristeliiriö ja jäähdytyskanavia. [23.] Lopuksi käämi pinnoitetaan foliolla (kuva 9), ja ensiön sekä toision väliin laitetaan kiilat.



Kuva 9. Käämin päällystys foliolla (vasemmalla). Oikealla valmiita käämejä.

Käämin pyöristäminen tapahtuu hakkaamalla lasikuitusauvoja käämin sisään. (Kuva 10). Pyöreän muodon tarkoitus on suojata rakennetta oikosulkutapauksissa.

Yläsiderautojen kiinnittämistä varten sydän nostetaan pystyyn. Sydänpakka puristetaan kasaan ruuvipuristimilla kuvan 10 mukaisesti, jolloin kela saadaan ujutettua sydänpalkkien ympärille. Lopullinen sydämen kasaaminen suoritetaan latomalla B-palat käsin limittäin vapaana olevaan sydämen päähän. Lopuksi sydänrakenne tuetaan kasaan kiinnittämällä yläsideraudat.



Kuva 10. Vasemmalla: Käämin pyöristys. Keskellä: Sydänpakka puristetaan kasaan, jotta kelat saadaan ujutettua kunkin pylvään ympärille. Oikealla: sydämen lopullinen kasaaminen.

Hartsaus tapahtuu upottamalla muuntaja hartsiin ja valuttamalla ylimääräinen hartsi pois. Kuivatus suoritetaan uunittamalla, näin varmistetaan hartsin kuivuminen myös sisältä. Sopiva kyllästysmenetelmä ja tapa riippuvat muuntajan koosta, käämitystavasta, halutusta kalvon paksuudesta, uunin ominaisuuksista yms. joten yksityiskohtaiset menetelmät vaihtelevat tuotekohtaisesti. Hartsauksen tarkoituksena on suojata muuntaja kosteudelta vaikeissakin ympäristöolosuhteissa. Hartsi muodostaa sitkeän ja tiiviin eristekerroksen. Hartsaus myös vähentää vuotovirtoja sekä pienentää käämitysten melutasoa.

Kytkevävaiheeseen tullessaan muuntaja on hartsattu. Ensimmäiseksi muuntajan pohja puhdistetaan ja langat suoristetaan. Kytkenässä lankojen päät hiotaan, taivutetaan manuaalisesti ja kytketään (Kuva 11). Mikäli kaikki liittimet ovat samalla puolella muuntajaa, kaapelivedoista tulee tiiviitä. Tällöin kytkentävaihe hidastuu huomattavasti. Merkittävin tätä työvaihetta hidastava tekijä onkin kytkentätilan puute. Johtinten välissä on oltava suuruudeltaan noin sormen mentävä rako (25 mm) sähköturvallisuussyistä. Johtimien fyysinen kulku on mietittävä työn edetessä, sillä johtimien reittejä ei ole merkitty piirustuksiin. Tämä vaatii kytkijältä ammattitaitoa ja hidastaa työvaihetta, koska on mietittävä miten edetä juuri tämän kyseisen muuntajan kanssa. Kytkeminen on työvaiheena fyysisesti raskas ja hidas, koska johtimet taivutetaan käsivoimin. Työvaihe aiheuttaa myös viiltohaavoja.



Kuva 11. Kytkevä vaihe langoilla.

Valmis muuntaja asennetaan koteloon. Kiinnitys koteloon tapahtuu ruuvaamalla muuntaja jaloistaan kotelon pohjaan sekä tuomalla kierretangot läpi kotelon ka-

tosta ja kiinnittämällä ne ulkopuolelta silmukkamuttereilla. Kotelointivaiheessa suoritetaan myös lisälaitteiden asennukset ja kytkennät sähkösuunnitelmien mukaisesti.

Tehomuuntajat valmistetaan ja tehdaskoestetaan IEC60076 standardin mukaisesti. Koestukset voidaan suorittaa myös muiden kansallisten standardien mukaan. Asiakkaan pyynnöstä voidaan suorittaa myös tyyppi- ja erikoiskoestuksia. [26.]

5.3 Toimitettujen muuntajien yleisimpien runkotehojen ja jännitteiden selvittäminen vuosina 2008–2011

Trafotek Oy valitsee tuotannon standardoinnin pohjaksi tietyn tehovalikoiman, jotka jatkossa edustavat A-sarjaa. Erityistilauksesta toimitetaan muitakin tehoja, mutta tietyt tehoalueet priorisoidaan. Tämän vuoksi tutkittiin kaikkien KT-alueelle kuuluvien, aikajanalla 2008–2011 toimitettujen muuntajien runkotehojakautia. Täten saatiin eriteltyä muutamia huomattavan volyymin omaavia runkotehokategorioita, jotka otetaan tuotesuunnittelun pohjaksi. Runkotehojen sekä jännitteiden vaihtelu vaikuttaa mekaniikka- ja kytkentäosien mitoitukseen, tämän vuoksi selvitys oli tehtävä ennen mekaniikkasuunnittelun aloittamista

Alueeseen kuuluu myös säästömuuntajia, eli muuntajia, joissa ensiö- ja toisio-puoli ovat galvaanisesti yhdessä. Etuna saavutetaan pienempi runkoteho. Säästömuuntajat tunnistaa Ya-alkuisesta tunnuksesta. Tässä työssä säästömuuntajien tehot on korjattu vastaamaan normaalien muuntajien tehoarvoja vertailun ja taulukoinnin mahdollistamiseksi.

Muuntajien toimitetuimmat runkotehot ovat tulevaisuudessa säilytettävät teholuokat, ne muodostavat vakioitavat tuotteet joita myydään standardituotantona. Harvinaisempiin runkoteholuokkiin kuuluvia muuntajia myydään jatkossa vain erillisen suunnittelun kanssa käydyn neuvottelun jälkeen. Jatkossa pyritään lisäämään tuotannon volyymia ja myytyjä määriä vakioimalla tuotteet tietyille teholuokille, jolloin voidaan käyttää standardiosia, kuten käämit sekä mekaniikkaosat. Tavoitteena on valikoiman supistaminen ja ostajien ohjaaminen tiettyjen muuntajien käyttöön sen sijaan, että jatkossakin tuotettaisiin täysin yksilölliseen tarpeeseen.

5.4 Yrityksen visiot

Yrityksen tavoitteen on standardoida muuntajatuotanto. Ostajat ohjataan standardituotteiden hankintaan tekemällä lisävarioinnista ja erikoistoimituksista sen verran kalliimpia, että ne menettävät kiinnostavuutensa.

Luodaan luokitukset A, B ja C. A-tuotteet ovat yhteensopivista, yleisimpiin tuotteisiin sopivista perusmoduuleista rakentuvia. Myyntihenkilöt voivat yhdistellä A-ryhmän moduuleita tarpeen mukaan tyydyttääkseen asiakastarpeet. Moduuleilla on kiinteät hinnat, joten tarjouksen tekeminen on nopeaa ja helppoa. Yksilöllistä suunnittelua ei enää tarvita, koska rakenne muodostuu vakio-osista. B-ryhmän tuotteet ovat harvinaisempia ja/tai jonkun verran muutoksia tarvitsevia. C-ryhmä on erityistilaus, johon vaaditaan suunnittelua ennen toteutusta, esimerkiksi suuri tilaus joka vaatii erikoisrakenteita. Yksittäisten, erikoisten muuntajien tekemiseen ei enää suostuta, vaan yritetään ohjata ostaja standardiversion pariin tai ilmoitetaan, että tuotevalikoima ei kata kyseisen kaltaista tuotetta.

6 SPEKSIT

Tuotteen määrittelyllä eli spesifioinnilla määritetään, mihin lopputulokseen kehitystyössä pyritään. Spesifikaatiosta ilmenevät myös kehitystyön reunaehdot. Tuotespesifikaatiossa kuvataan asiakkaan ja yrityksen tuotteelle asettamat vaatimukset. Tuotteen määrittelyssä huomioidaan sekä sisäiset että ulkoiset asiakastarpeet. Tärkeää informaatiota ovat myös tuotteessa mahdollisesti ilmenneet viat sekä asiakaspalaute. Myös lait, viranomaismääräykset sekä standardit on huomioitava. Spesifiointi toteutetaan keräämällä tietoja sekä sisäisiltä että ulkoisilta asiakkailta. [24.]

6.1 Yleisiä perusteita

Muuntajavalmistuksen pohjaksi luodaan perusmallit, jolloin säästetään suunnittelu-, työ- ja alihankintakustannuksia sekä nopeutetaan toimijaryhmien toimintaa. Käyttöön otetaan vakio-osat. Eri versiot tulevat tehtäviksi samoista osista joko kokoa muuntamalla, tai osia yhdistelemällä eli modulaarisesti. Osien kokonaismäärän minimointi on tärkeä suunnitteluperuste.

Muuntajan rakenne halutaan yksinkertaistaa, jotta tuotannon työvaiheet tulevat nopeammiksi sekä yksinkertaisemmiksi. Selkeä rakenne helpottaa suunnittelua, osien standardointi ja modulointi puolestaan nopeuttavat ja selventävät muuntajien myyntiä, suunnittelua ja alihankintaa sekä tuotantoa. Standardoinnilla minimoidaan virheellisten osatoimituksien riski, sekä poistetaan kalliiksi tuleva uniikkien muuntajaosien tilailu.

6.2 Dimensiot

Sydämen koko määrittää muuntajan mittasuhteet. Nykyiseen sydänvalikoimaan on tulossa sekä määrällistä karsintaa että mittamuutoksia tuotekehitystoimenpiteiden ja priorisoinnin vuoksi. Uusien sydänkokojen mittoja ei tämän opinnäytetyön suorittamisen aikana saatu, mikä hankaloitti osaltaan mekaniikkaosien suunnittelua. Muuntajien kokonaisleveysvaihtoehdot riippuvat uusista sydämistä, rainaleveysistä, käämien uusista sisähalkaisijoista sekä uusista B-paloista. Uudet B-palojen koot ovat 210, 250, 290, 330, 370, (optio 410). Käämien sisähalkaisijoille luodaan spesifit koot Trafotek Oy:n toimesta. Käämien koot määräytyvät jatkossa portaittain. Elokuun 2011 loppuun mennessä käämikokoja ei ollut vielä määritetty. Trafotek Oy:n toimesta luodaan myös uudet pylväiden keskitysten jaot, 4–5 eri luokkaa. Muuntajan korkeuden on puolestaan oltava muunneltavissa täysin joustavasti sähkösuunnittelullisista syistä. Tuotteen kokonaispaino on 200–1200 kg.

6.3 Mekaniikkaosat

Muuntajan perusmekaniikkaosia ovat sideraudat, jalat sekä nostorauta. Seuraavaksi eritellään näiden osien merkitykset rakenteessa, sekä osien kehityssuuntia ja rajoitteita.

Sideraudan tarkoituksena muuntajarakenteessa on sydämen koossapysyminen ja rakenteen tukeminen, ei ainoastaan lopputuotteessa vaan myös tuotannon aikana. Siderautoihin kiinnitetään muuntajaan tulevat mekaniikkaosat, mm. jännitteelliset kiskot, jalat, kytkentäosat sekä folioiden kytkentäraudat. Myös johdo-

tuksia kuljetetaan siderautojen sisäkurveissa. Tällä hetkellä siderautojen materiaalipaksuus on 6 mm. Siderautoja on 4–5 eri pituutta, syvyydet välillä 50–70 mm.

Tavoitteena on jatkossa kaikkien siderautojen valmistaminen samasta levyateriaalista. Siderautoista tehdään saman syvyisiä, tämä poistaa jigin säätötarpeen tuotannossa muuntajaversioiden valmistuksen välillä. Siderautojen pituudet määräytyvät uusien sydänkokojen perusteella. Tarvittava levypaksuus lasketaan detaljisuunnittelun yhteydessä muuntajan maksimimassojen perusteella siten, että rakenteen kestävyys voidaan samalla levypaksuudella taata kaikille versioille.

Rakenteessa tarvitaan jalat, jotta tuote saadaan seisomaan pystyssä tuotannon työvaiheiden aikana ilman erillistä tuentaa. Valmiissa tuotteessa jalkojen tehtäviä puolestaan ovat muuntajan kiinnitys koteloon, sekä muuntajan erottaminen kotelon lattiasta sähköturvallisuussyistä. Jalat sallivat myös käämin jäähtymisen mahdollistavan ilmankierron kotelossa. Jalkojen korkeus nykyratkaisussa on 30 mm – jatkossakin korkeuden on ilmankierrollisista syistä oltava vähintään sama. Jotta rakenteen vakavuus olisi riittävä, jalossa on oltava tarpeeksi syvyyttä muuntajan syvyyteen nähden. Syvyydet määräytyvät siten, että muuntajat sopivat edelleen kiinnitettäväksi nykyisiin koteloratkaisuihin.

Nostoraudan tehtävä on muuntajan tuenta koteloon. Nostorautaan kiinnittyvillä, kotelon katon läpi tulevilla lenkeillä mahdollistetaan valmiin koteloidun muuntajan nostaminen.

6.4 KytKentä

KytKentätyypeistä Dyn11 määritetään vakioksi (A). Uuteen muuntajaratkaisuun hyväksytään maksimissaan kahdet erilaiset kytKentäosat. KytKentä halutaan suoritettavaksi yhdeltä puolelta muuntajaa asennustilan maksimoimiseksi. KytKentä on tarkoitus tehdä jatkossa muuntajan keskelle yhdellä kytKentäelementillä. KytKentäpisteeseen on päästävä kytkeytymään sekä ylhäältä että alhaalta samoilla kytKentäosilla, eli kytKentäratkaisun on oltava symmetrinen. Kaapelien tuenta on hoidettava siten, että se on tarvittaessa mahdollista sekä ylös että alas. KytKentä tuotannossa käämien ja liitäntäpisteiden välillä tapahtuu folioilla tai kuparilangoilla. Asiakasrajapinta sijaitsee liitäntäpisteessä.

Liitäntäpisteiden koot suunnitellaan asiakaskohtaisten laskelmien mukaan. Liitäntäpisteiden on oltava vaihdettavissa asennuspaikalla, koska loppuasiakkaan kytkemistarvetta ei pystytä ennakoimaan. Liitäntäpisteissä on oltava erikoisia kytKentäpisteitä, jotta samoilla liitäntäosilla mahdollistetaan kaikki erilaiset kytKentävariantit. Käämin ulostuloja eli kytkettäviä lankoja voi olla 4–40 kpl. Ulostulot voivat olla eri materiaaleista ja erikokoisia.

6.5 Muut huomioitavat tekijät

Muita rakennesuunnittelussa huomioitavia tekijöitä ovat tarvittavien lisäosien integrointimahdollisuus sekä muuntajan sopiminen ja kiinnittyminen koteloon. Konseptisuunnittelussa on huomioitava myös muuntajan riittävä jäähtyminen.

Rakenteen on tuettava erilaisia lisäosia. Lisäosat ovat tuotteeseen eri tilauksesta integroitavia lisäominaisuuksia, jolle on oltava rakenteessa asennuspaikat. Lisäksi on mahdollistettava lisälaitteiden sekä antureiden johtojen kuljettaminen rakenteessa.

Mahdollisia lisälaitteita ovat:

- | | |
|----------|----------------------------------|
| 1) P5030 | Temperature Control for Windings |
| 2) P5040 | Temperature control for core |
| 3) P5050 | Local Temperature display |
| 4) P5070 | Vibration dampers |
| 5) P5080 | Stand still heaters |
| 6) P5090 | Earthing ball |

Jäähtymisen on oltava maksimaalista, joten ilmankiertoa estäviä rakenteita tai muita jäähtymistä hidastavia rakenteellisia seikkoja ei saa olla. Tämän vuoksi esimerkiksi sideraudan alapiena on saatava mahdollisimman pieneksi, tai poistettava kokonaan. Myös rei'ittäminen tai loveaminen ovat mahdollisia vaihtoehtoja. Tulevaisuudessa tehtävällä kotelosuunnittelulla voidaan vaikuttaa jäähtymiseen merkittävästi. Lisäjäähditys voidaan tarvittaessa hoitaa myös erillisellä jäähdyttimellä.

Muuntajaosan kiinnitys ja tuenta koteloon tapahtuu ylhäältä ja alhaalta. Nostolenkit ovat kiinni yläsideraudoissa kierretangon välityksellä. Nostolenkit tulevat kotelon katosta läpi. Siderautojen alapuolelle kiinnitetään nykyrakenteessa erilliset jalat, joiden päällä kokonaisuus seisoo kotelossa. Kiinnitys kotelon lattiaan tapahtuu em. jalkojen avulla.

Häiriötilanteessa suuret käämiä erilleen repivät vertikaaliset voimat mahdollisia. Vaurioiden minimointi suoritetaan käämin tuennan avulla. Tuentaa ei kuiten-

kaan aina tarvita. A-ryhmä tehdään vain ainoastaan painovoimaa vastaan tuki-en (aksiaalinen voimakomponentti), muihin suuntaan tarvitaan tuki vain erityistapauksissa. Lasikuitusauvojen käämin sisällä pysymistä varten sideraudassa alhaalla on oltava reunaa.

Resonointiäänien minimoimiseksi kotelon ja muuntajan välille asennetaan eristeet. Mikäli muuntajan jalkojen ja kotelon välille laitetaan kumitassut resonanssin pienentämiseksi, on huomioitava, että muuntajan on laivan mahdollisesti jopa kaatuessa pysyttävä paikoillaan ja pystyssä. Sydämen maalaamisella käyntiäänin saataisiin vaimeaksi, mutta maalaamisesta aiheutuva lisäkustannus sekä tarvittavien työtilojen puute aiheuttaisi ongelmia. Myöskään eri sarjojen välille (PT/KT) tämän vuoksi syntyvä laatuero ei olisi hyväksyttävää.

Materiaalien valinta suoritetaan meriolosuhteiden mukaan. Maalaus tai muut pintakäsittelyt eivät ole hyväksyttäviä vaihtoehtoja. Käytettävät materiaalit eivät saa olla palavia tai paloa ylläpitäviä, lisäksi materiaalien on oltava itsestään sammuvia. Tuotteessa ei saa olla myrkyllisiä materiaaleja. Sähköturvallisuus on huomioitava kaikissa materiaalivalinnoissa.

Alihankintaosien valmistus yhtenäistetään ja mekaniikkasuunnittelussa huomioidaan alihankkijoiden mahdolliset tuotantorajoitteet. Suositetaan alikokoonpanoja sekä puolivalmisteita mahdollisuuksien mukaan, jolloin omalle linjalle jää mahdollisimman vähän työvaiheita.

Käämit on jatkossakin voitava rikkoutumistilanteessa vaihtaa käyttökohteessa. Uusi käämi nostetaan sisään muuntajakotelon katon kautta. Sähköiset lisäosat ovat hajoamisherkin tekijä ja ne on voitava korvata uusilla osilla helposti. Tämän

vuoksi on huomioitava lisäosien sijoittuminen kotelon ulkopuolelle tai liitäntäosien läheisyyteen, samalle puolelle muuntajaa.

7 KONSEPTISUUNNITTELU

7.1 Määrittely

Konsepti ratkaisee ongelman sekä parantaa tuotteen nykyistä toimintaa, valmistettavuutta ja soveltumista käyttötarkoitukseensa. Konsepti on ideatasolla oleva ratkaisu. Käyttäjien mielipiteet konseptista pyritään selvittämään esimerkiksi 3D-mallin avulla. Konsepti voidaan tarkemman tutkimus- ja kehitystyön jälkeen toteuttaa. [20.]

Konseptisuunnittelu aloittaa käytännön suunnitteluprosessin. Konseptisuunnittelua edeltäneet esiselvitysvaihe sekä spesifikaatioiden laadinta ovat viitekehysten ja tietopohjan rakentamista konsepti- ja mekaniikkasuunnitteluvaiheissa tapahtuvalle käytännön suunnittelutyölle. Konseptisuunnittelu on projektin onnistumisen kannalta suunnitteluprosessin ehkä jopa tärkein vaihe, sillä siinä testataan tuote ja sen toimivuus teoriassa. Tuotekehitysprojektin loppuunsaattaminen on konseptisuunnitteluvaiheessa laaditun teorian toteuttamista konkreettisesti. [21.]

Käyttäjäkeskeinen konseptisuunnittelu, UCPCD, (User-centered Product Concept Design) on lähtökohta perinteiselle tuotekehitysprosessille. Käyttäjäkeskeisen konseptisuunnittelun tarkoitus on varmistaa, että tuotekehitysvaiheessa suunniteltavat tuotteet vastaavat käyttäjien tarpeisiin. [25.] Tarpeiden tunnistaminen on tärkeä osa käyttäjälähtöisen konseptisuunnittelun perusteista.

Suunnitteluprosessi sisältää tuotteen kaikkien ominaisuuksien määrittelyn ja tiedon, miten nämä ominaisuudet saadaan toimimaan lopputuotteessa. Kokoonpanot ovat suunnitteluprosessin tuloksia ja tämän vuoksi tuotteen suunnittelussa tulee huomioida osien yhteenliittymäkohdat ja suhteet muihin osiin. [31.]

Tuotteita suunniteltaessa ei aina onnistuta huomioimaan kaikkia yksityiskohtia. Mikäli suunnitteluvaiheessa ei ole huomioitu kokoonpantavuutta, vaan on keskitytty ainoastaan lopputuotteen toimivuuteen, kokoonpantavuus saattaa kärsiä. Kokoonpantavuuden suunnittelun eli DFA:n (Design For Assembly) avulla kokoonpantavuuteen voidaan vaikuttaa paljon enemmän verrattuna vasta tuotannossa jälkikäteen tapahtuvaan työvaihe- tai menetelmäsuunnitteluun. [32.]

7.2 Konseptin kehittämisperusteet

Konseptin kehittämisen perustaksi selvitettiin työntekijöiden ajatuksia ja mielipiteitä seuraamalla työntekijöitä eri työvaiheissa kuunnellen ja kysellen. Selvitys- ja perehtymisprosessin aikana kehittyi käsitys siitä, miten tuotannossa ja toiminnassa ilmeneviä ongelmakohtia voitaisiin ratkaista tuotesuunnittelun avulla.

Kokoonpanovaiheessa tuotekohtaisesti valmistetut osat ja standardikomponentit liitetään toisiinsa toimivaksi tuotteeksi. Tekesin Teknologiaohjelmaraportin (2/2001) mukaan kokoonpanotyön osuus tuotteen kokonaistyöajasta saattaa olla jopa 20–40 %. Tämän vuoksi kokoonpanokustannusten osuus tuotteen kokonaiskustannuksista on suuri. Yksittäisten osien valmistamiseen kuluva aika on saatu minimoitua nykyaikaisilla valmistusmenetelmillä, mutta kokoonpanovaiheeseen kuluva aikaa ei ole pystytty vähentämään yhtä tehokkaasti. [33.] Päänäkökohdiksi muuntajamekaniikan konseptisuunnittelussa valittiin sekä ra-

kenteen että kokoonpanotyön selkeys ja yksinkertaisuus, koska em. perustein tämä on kehityssuunta, jonka avulla voidaan saavuttaa taloudellisesti merkittävintä etua ja käytännössä ilman kustannuksia – ainoastaan järkevän suunnittelun avulla. Tavoitteet saavutetaan työvaiheiden yksinkertaistamisen ja kokoonpanossa tarvittavien osien määrän minimoinnin kautta sekä muuntajarakenteen yleisen yksiselitteisyyden avulla. Lopputuloksena on tuotannon tehostuminen kaikissa vaiheissa.

Hieman kalliimpi osa joka antaa merkittävää selkeyttä tuotannon kaikissa vaiheissa – suunnittelu, myynti, osto, alihankinta sekä kokoonpano – sekä mahdollisuuden tilata osia varastoon tasaisesti, on kannattava satsaus. Toimitusvarmuus pysyy korkealla ennakoitavuuden ansiosta. Alihankinnan sujuvuuden kautta saavutetaan huomattavaa kustannussäästöä, huolimatta yksittäisen osan mahdollisesti korkeammasta valmistuskustannuksesta.

Konsepti suunniteltiin osien erilliset yksilölliset vaateet huomioiden, integroimalla ne kokonaisuudeksi joka puolestaan täyttää ulkorajapintojen ja toimijoiden prosessin eri vaiheissa asettamat ehdot. Suunnitellut osat mallinnettiin Solid Works -ohjelmalla 3D-muotoon.

7.3 Mekaniikkarakenteen jako toiminnallisiin moduuleihin

Esiselvitysvaiheessa havaittiin muuntajan eri mekaniikkaosien muodostamien rakenteiden tarkoitus. Laadittaessa spesifikaatiot uudelle mekaniikkaratkaisulle aiempia rakenteiden toiminnallisia tarkoituksia pyrittiin yhdistelemään mahdollisimman paljon alhaisemman osien kokonaismäärän saavuttamiseksi. Konsepti-

suunnitelma perustuu näihin aiempiin selvitysvaiheisiin ja niiden perusteella muuntajassa tarvittavat toiminnalliset rakenteet tai tehtävät ovat seuraavat:

- 1) Muuntajan nostaminen
- 2) Sideraudat sekä muuntajan pystyssä pysyminen, sekä tuotannon aikana että lopputuotteenä
- 3) Kytkenä
- 4) Johtovetojen suorittaminen, lisälaitteiden, maadoituskiskon ja muiden mekaniikkaosien kiinnittäminen, mikäli kyseiset toiminnot eivät hoidu em. rakenteiden avulla.

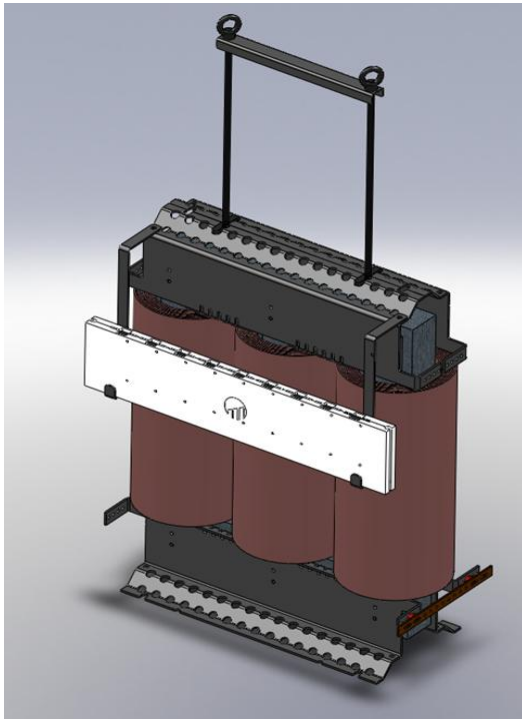
Seuraavaksi esitetään laadittu konseptisuunnitelma ensin kokonaisuudessaan pääpiirteittäin, ja sen jälkeen rakennemuodulleittain eriteltynä.

7.4 Konsepti

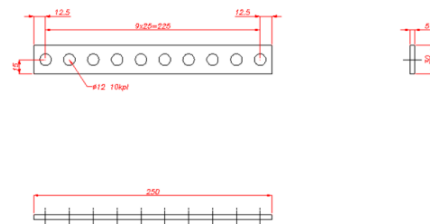
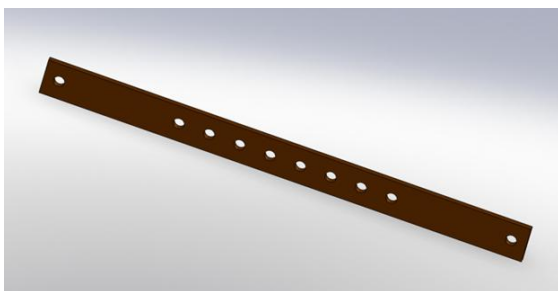
Konseptin ytimen muodostaa siderauta, johon on integroitu mahdollisimman paljon toimintoja. Ylhäällä ja alhaalla käytetään samaa siderautaa. Sideraudan dimensiot on suunniteltu siten, että siderauta asennetaan ylhäällä toisinpäin, jolloin lasikuitusauvojen tukilippa solahtaa sydämen ikkunan väliin. Siderauta sekä sideraudan ylälippa ovat voimakkaasti rei'itetyt ilmankierron ja käämien jäähtymisen maksimoimiseksi. Konseptin 3D-mallinnus kuvassa 12.

Sideraudan molemmissa päädyissä on taitteet maadoituskiskon sekä muiden lisäosien kiinnitystä varten. Reikäjako päätytaitteisiin suunnitellaan siten, että kaikki mahdolliset sydänpaksuudet saadaan valmistettua, ja silti kiinnitettyä sama maadoituskisko (Kuva 13) päätyyn. Johtovetoja saadaan kuljetettua yläsideraudan alataitteessa, mieluiten putkitettuna. Reikäkuviointiin saadaan kiinnitettyä johtojen kuljetusputki tai vaihtoehtoisesti kiinnitettyä vaakasuuntaiset johtovedot nippusiteillä. Sideraudan alareunan kiinnitysreikien etäisyydet on mitoit-

tu olemassa olevien muuntajakoteloiden rei'ityksen mukaan. Toiset sideraudan reunareiat perustuvat siderautaa ylhäällä käytettäessä tarvittaviin, nostorakenteen vaatimiin kierretankojen kiinnittymiskohtiin. Yksinkertaistettu nostotukirakenne muodostuu kahdesta kierretangosta, silmukkamuttereista sekä nykyisestä nostotukiraudasta.

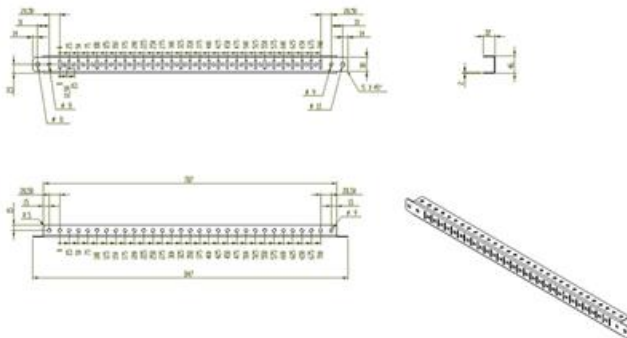
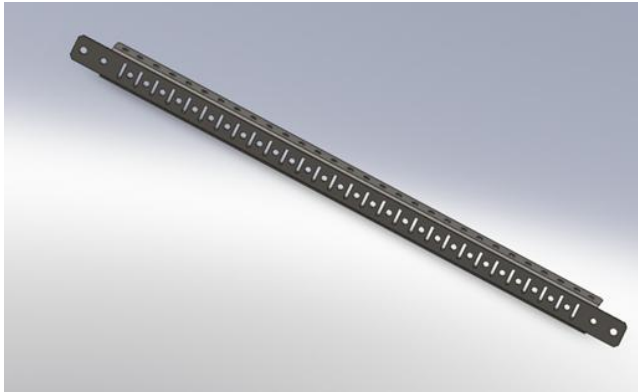


Kuva 12. Konseptisuunnitelma 3D.



Kuva 13. PMAAD25-2512. Maadoituskisko. Maadoituskisko asennetaan muuntajan päättyyn, ja se on saatava kiinnitettyä joka sydänvarianttiin. Kiinnitystavan on oltava joustava, koska sydämen paksuus vaihtelee. Maadoituskiskon ja rungon väliin on asennettava eristeet.

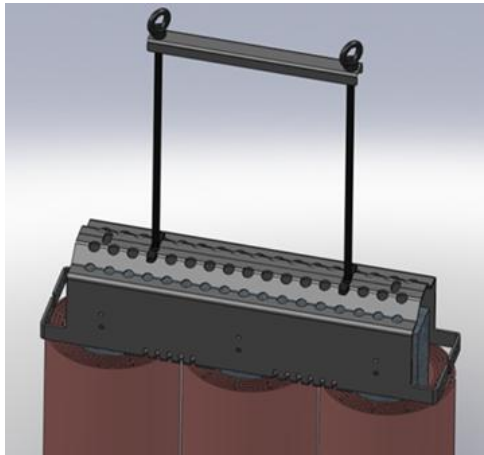
Kytcentä suoritetaan muovista valmistetun kytcentämoduulin sisällä. Moduuli on kaikissa muuntajissa sama. Mikäli tarvitaan enemmän kytcentäpisteitä, moduuleita voidaan asentaa kaksi limittäin. Kytcentämoduuli on alihankinnassa valmiiksi koottu kokonaisuus, jonka sisällä ovat integroituna nykyisenkaltaiset liittäntäpisteet. Kytcentät on suoritettu kotelon sisälle alihankinnassa sähkösuunnittelun piirustuksien mukaisesti. Kytcentäosalle suunnitellaan lisäksi erillinen kiinnitysrauta, johon voidaan kiinnittää tarvittaessa myös nykyinen johtotukirauta (CASU), kuva 14.



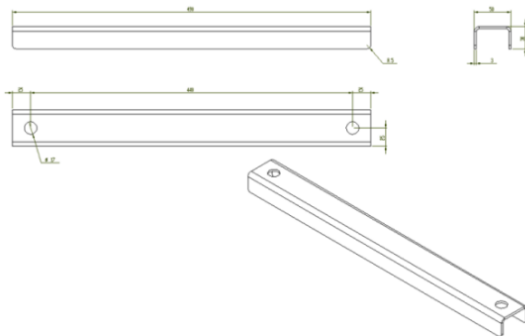
Kuva 14. CASU641-G00.

7.4.1 Nostaminen

Uuteen nostorakenteeseen (Kuva 15) kuuluvat kierretangot (2 kpl), kopan kattoon vasten tuleva nostotukirauta (Kuva 16) sekä silmukkamutterit (2 kpl). Rakenteeseen sisältyy kolme erilaista rakenneosaa, jotka kaikki ovat jo ennalta käytössä olevia osia.

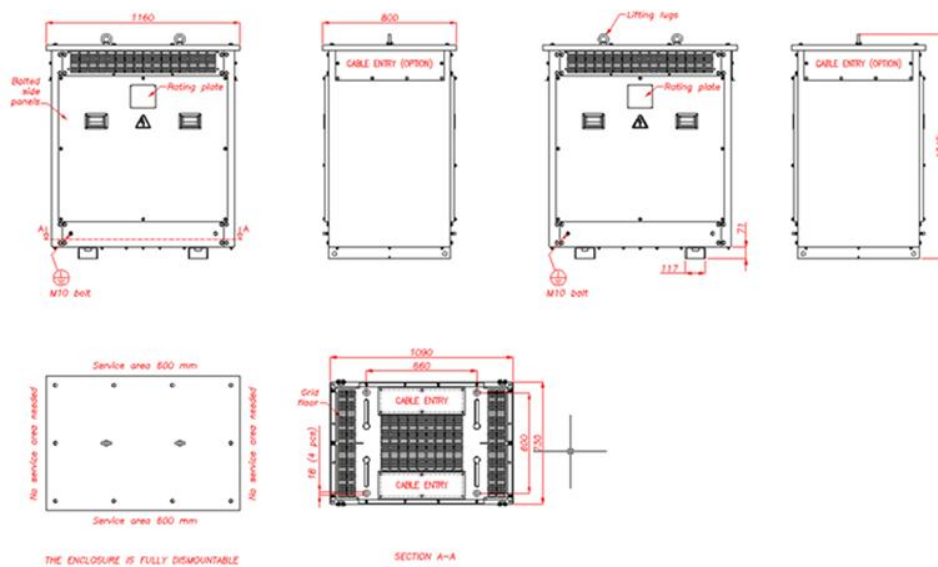


Kuva 15. Uusi nostoratkaisu. Suoraan yläsiderautoihin kiinnittyvät kierretangot sijaitsevat keskilinjalla. Lisäksi nostorakenteeseen kuuluvat silmukkamutterit sekä kopan kattoon vasten tuleva nostotukirauta.



Kuva 16. Nostotuki NOTU16-44-G00, jota käytetään myös uudessa muuntajarakaisussa.

Nostoratkaisu perustuu täysin muuntajakotelon aiheuttamiin rajoitteisiin, jotka selvitettiin nykyisiä kotelokuvia vertailemalla. Esimerkkinä kotelon FA230-2912M piirustukset kuvassa 17. Uudistettavaan alueeseen kuuluu neljä kotelokokoa. Nostokorvien etäisyys toisistaan kopan katossa on aina sydänmallista riippumatta 440 mm. Etäisyys pidetään ennallaan, jolloin koppaa ei tarvitse muuntaa, vaan uusi muuntajarakaisu mahtuu edelleen tällä hetkellä käytössä oleviin koteloihin.



Kuva 17. Yleiskuva kotelosta FA230-2912M.

Nostamiseen käytetään vain yhtä nostotukirautakokoa. Eripituisiin siderautoihin tulee tällöin reiät samalla jaolla kierretankoja varten. Nosto-osan on oltava kierretangosta valmistettu kuten aiemmassakin mekaniikkaratkaisussa, jotta korkeussäätö saadaan pysymään täysin portaattomana kustannustehokkaasti.

Uuden nostorakenteen etuja ovat osamäärän väheneminen sekä pieni muutostarve nykyiseen verrattuna. Tuotannonaikainen nostaminen voidaan jatkossa suorittaa nostamalla koukuilla sideraudassa olevasta aukotuksesta. Nostora-

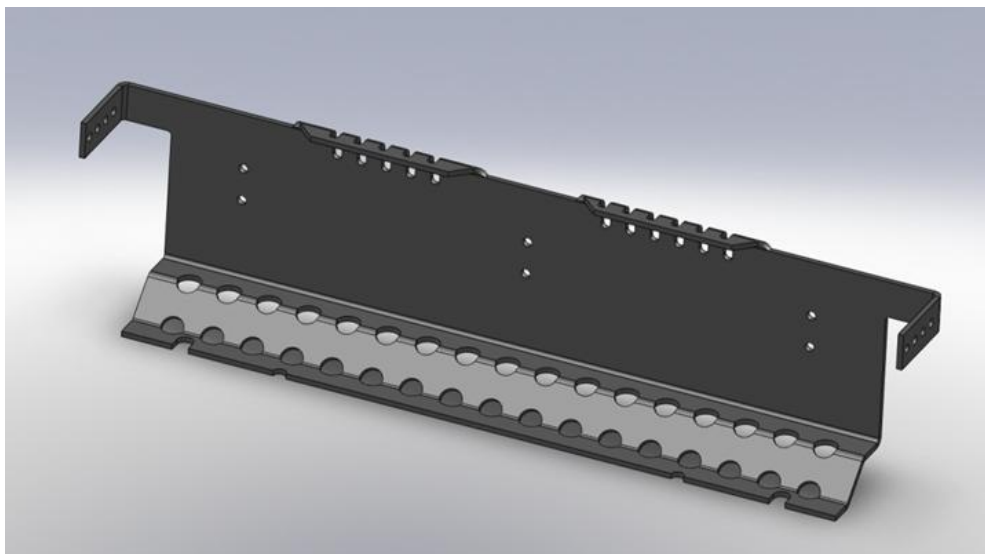
kennetta varten ei tarvita uusia piirustuksia, koska käytetään olemassa olevia osia. Korkeussäätöjen suorittaminen kierretankoja työstämällä on jo ennestään tuttu työmenetelmä tuotannossa.

Negatiivista on, että tuotantoon jää edelleen työstettävää. Korkeusmuutos on tehtävä aina kyseisen muuntajan ja kotelon mukaan sovittaen. Myöskään muuntajan ulkonäkö ei parane tällä ratkaisulla. Mekaniikkasuunnitteluvaiheessa ratkaistavaksi ongelmaksi jää sideraudan mahdollinen avautuminen nostolinjalla. Nostolinjan on joka tapauksessa sijaittava muuntajan keskilinjalla sekä muuntajakotelossa olevan rei'ityksen vuoksi että rakenteen vakaussyistä.

7.4.2 Siderauta

Uusi siderauta (Kuva 18) on yhdestä levyaihiosta taivuttamalla valmistettu monitoimiosa, jolloin tuotannossa tarvittavien ja täten tilattavien ja suunniteltavien nimikkeiden määrä laskee. Siderauta poistaa erillisten käämitukien sekä jalkojen tarpeen. Myös tuotannonaikaisten apujalkojen kiinnittelyltä ja irrottelulta vältytään, koska jalat ovat integroituna siderautarakenteeseen. Tämän lisäksi siderautojen suunnittelun perusteena oli, että saman sideraudan on sovittava käytettäväksi sekä muuntajan ylä- että alaosassa.

Käytettävän levymateriaalin paksuus sideraudoissa on jatkossa aina sama muuntajan pituudesta huolimatta. Materiaalin kestävyys lasketaan suurimman alueeseen kuuluvan muuntajan massan mukaan. Rakenteen on kestävä vaakaasti myös myrskyolosuhteissa, mikä on huomioitava lujuuslaskennassa. Sideraudan syvyys on oltava sama kaikissa tapauksissa, jotta tuotannossa vältytään sydämen ladontavaiheessa kasausjigin säätämiseltä eri muuntajien välillä.



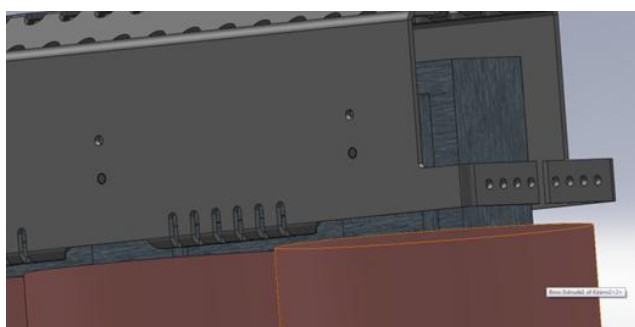
Kuva 18. Jatkokehitykseen valittu siderautamalli. Keskimmäisiin puolireikiin alareunassa kiinnittyy nostamiseen tarvittavat kierretangot käytettäessä rautaa ylhäällä. Reikien välinen etäisyys on 440 mm. Ulommista rei'istä muuntaja kiinnitetään kopan lattiaan, reikien välinen etäisyys 660 mm.

Siderautojen pituudet valitaan sydämen leveyden mukaan. Jokaiselle sydämekoolle valmistetaan oma siderautansa kuten nykyisinkin. Tämä on suunnittelullisesti yksinkertaisin vaihtoehto, koska tällöin sydänpultaukselle tarvitaan vain kyseisen sydämen reikäjako. Reiät sideraudassa tulevat sydänpultauksen vaatimalle kohdalle – sideraudan kiinnitys ja sydänpultaus suoritetaan samalla ruuvilla. Sideraudassa on vertikaalipinnassa tuplareiät: toisista tapahtuu sydänpultaus käytettäessä rautaa alhaalla, toisen reiät sopivat sydänpultauksen kanssa samoihin reikiin käytettäessä siderautaa yläraudana. Kiinnitysreikäjako muuntajakotelon pohjassa sekä katossa määrää sideraudan reunassa olevan kiinnitysreikäjaon.

Sähtöturvallisuussyistä sekä ilmankierron mahdollistamiseksi sydämen on oltava vähintään 30 mm etäisyydellä kotelon lattiasta. Tämä on huomioitava sideraudan alataitteen taivutuksen mitoituksessa mekaniikan detaljisuunnitteluvaiheessa.

Sideraudan rei'itys mahdollistaa vapaan ilmankierron ja täten käämien jäähtymisen. Tuuletusrei'istä voidaan myös suorittaa tuotannonaikainen muuntajan nostelu lenkkien avulla turvallisesti. Nykyisin joihinkin siderautoihin kiinnitetään nostojen ajaksi erilliset nostolenkit, tästä aiheutuu tuotantoon ylimääräinen työvaihe. Joitain muuntajaversioita nostetaan nykyisin sideraudan suorasta ja sileästä pinnasta – tämä on turvallisuusriski, sillä nostokoukut lipsuvat. Rei'ityksen muoto ja jako alustavissa mallinuksissa ovat viitteellisiä. Reikäjako sekä -muoto on suunniteltava mekaniikkasuunnitteluvaiheessa huomioiden kestävyys-, valmistuskustannus- sekä ilmankiertoseikat.

Käämin sisällä olevien lasikuitusauvojen pysyminen paikallaan käämien sisällä sekä legojen tukeminen tapahtuu sideraudan yläosassa olevan tukilipan avulla. Lipan rei'itys mahdollistaa käämien vapaan tuulettumisen. Tukilipat tukevat 45 asteen kulmassa olevia legoja. Käytettäessä samaa rautaa ylärautana (Kuva 19), lippa solahtaa ikkunan väliin, eli sydämen ja käämien väliseen tyhjään koloon. Lipan leveys on mitoitettu sydämen ikkunan leveyden mukaan. Sideraudan sivutaitteisiin saadaan kiinnitettyä lisälaitteita, kuten maadoituskisko, tuuletin jne.



Kuva 19. Siderauta ylhäällä. Lävistysreikien ansiosta muuntaja tuulettuu yläkautta, rakenne olisi muuten liian umpinainen. Päätytaitteen rei'itys mahdollistaa lisälaitteiden kiinnityksen.

Seuraavaksi käsitellään uudesta siderautaratkaisusta saatua asiakaspalautetta ja ilmenneitä huolia, sekä niiden ratkaisuehdotuksia.

Sideraudan rei'itys

1) Ongelma

Osasta tulee kallis rei'ityksen vuoksi. Myös rakenteen tukevuutta etenkin myrskyssä epäiltiin.

2) Peruste

Rei'itys on tarpeellinen rakenteen ilmankierron vuoksi. Sama siderauta umpinaisena estäisi välttämättömän ilmankierron. Siderauta/jalkayhdistelmä -malli säästää tuotannonaikaiselta apujalkojen kiinnittelyltä ja irrottamiselta, sekä erillisten jalkaosien suunnittelulta, valmistamiselta ja hankinnalta. Siksi toimintojen yhdistäminen on rationaalista.

3) Ratkaisuehdotussuunta

Lävistetyin osan kestävyys sekä vaaditulla muuntajamassalla että myrskyolosuhteissa voidaan laskea ja todentaa. Kestävyteen voidaan vaikuttaa materiaalin paksuudella sekä materiaalivalinnalla. Myös kiinnityskohtien määrää kopan pohjassa voidaan tarvittaessa lisätä, esimerkiksi kolme kiinnitysreikää kummallakin muuntajan sivulla.

Rei'ityksen aiheuttama osan hinnan nousu minimoidaan valitsemalla halvin mahdollinen rei'itystapa. On myös huomioitava, että siderautamonitoimiosan käyttäminen säästää varastotilaa, koska nykyisin jalka- ja siderautakokonaisuus vaatii usean eri nimikkeen suunnittelua, tilaamista ja säilyttämistä. Uusi ratkaisu korvaa nämä kaikki ainoastaan yhdellä osalla.

Ylälippa

1) Ongelma

Osasta tulee monimutkainen. Käämin tukilippaa ei joidenkin lausuntojen perusteella tarvita kaikissa muuntajaversioissa. Lippa halutaan pois ja lasikuitusauvojen tukemiseen voitaisiin tarvittaessa käyttää erillistä osaa.

2) Peruste

Ylälippaa tarvitaan lasikuitusauvojen käämien sisällä pysymisen vuoksi. Tästä tarpeesta on yrityksestä saatu ristiriitaista tietoa, toisten tietolähteiden mukaan tukilippaa tarvitaan raken-

teessa aina. Lisäosien lisääminen rakenteeseen ei ole rationaalista, koska muuten ollaan tuota pikaa samassa osapaljoudessa kuin aiemmin. Selkeyssyistä uuteen rakenteeseen suunnitellaan ainoastaan vakio-osia, ja niin vähän kappalemääräisesti kuin mahdollista! Tämä on myös oston toive.

3) Ratkaisuehdotussuunta

Yritetään integroida tukilippa rakenteeseen mahdollisimman pienillä kustannuksilla, siten, että sama siderauta edelleen sopii sekä ylä- että alasieraudaksi.

Päätytaite

1) Ongelma

Päätytaitteen valmistaminen samasta sideraudan levyaihiosta aiheuttaa materiaalihukkaa.

2) Peruste

Päätytaitteen edut ovat merkittävät, koska taitteisiin saadaan kiinnitettyä kaikki rakenteessa tarvittavat lisälaitteet: tuulettimet, lämmittimet, maadoituskiskot jne.

3) Ratkaisuehdotussuunta

Mekaniikkasuunnitteluvaiheessa voidaan pohtia, voisivatko vastaavan kiinnitysmahdollisuuden tuovat taitteet rakentua jotenkin ilman erillisen osan lisäämistä.

Pinoutuvuus

1) Ongelma

Epäiltiin, että osa ei pinoudu ja tämän vuoksi osan varastointi- ja kuljetustilarave muodostuisi liian suureksi.

2) Peruste

Muoto on harkittu ja toimintojen yhdistämisellä saavutetaan merkittävät edut, kuten edellä on todettu.

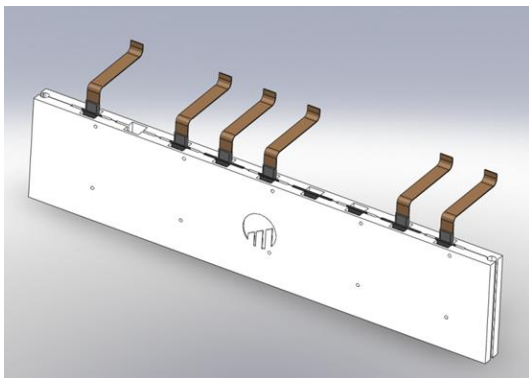
3) Ratkaisuehdotussuunta

Päätytaitteen kanttaukset voidaan jättää vähän auki. Tällöin kappaleet saataisiin pinottua kuljetuksen ja varastoinnin ajaksi. Mikäli materiaalinhukkaongelma aiheuttaa uudelleensuunnittelutarvetta päätylipan osalta, voidaan tässä yhteydessä ratkaista myös pinoamisvaikeutta.

7.4.3 Kyt kentämoduuli

Kyt kentämoduuliratkaisun perustana on useiden erilaisten liit äntämahdollisuuksien sekä eri kyt kentäversioiden mahdollistaminen standardoidusti. Kyt kentämoduulin materiaali on muovia, jolloin lasikuitupalkkien työst ämiselt ä ja erillisten eristeiden k äytt ämiselt ä v ält ytt ään.

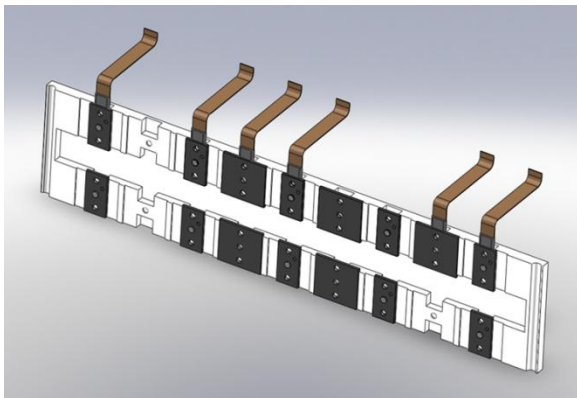
Kuten speksien m ääritt ämisen yhteydess ä p äät ettiin, k äämin ulostuloja voi olla 4–40 kappaleita ja kaapeleiden ulostulopaikkoja k äämist ä voidaan tarvittaessa muuttaa sekä vaihtaa. T ähän perustuen muutetaan kyt kent ätapaa siten, ett ä k äämeilt ä tuodaan ulos ennalta suunnittelussa j ärjestyksess ä oikealta vasemmalle ainoastaan lyhyet langan p äät. Esikootun kyt kent ämoduuliosan sis äll ä on samassa j ärjestyksess ä liit änt äpisteet, joihin kyt ket ään yksitt äin k äämeilt ä tulevat langat suunnitellussa j ärjestyksess ä. Kuva 20.



Kuva 20. K äämeilt ä tulevat langat kyt kett yn ä kyt kent ämoduulin avulla.

Muovikotelon sis älle asennetaan nykyisiin liit änt äpisteisiin perustuvat liit änt äkomponentit ja kotelorakenteen sis äll ä teht ävät kyt kennät suoritetaan alihankin-

nassa. Kotelo suunnitellaan sisältä symmetriseksi siten, että joka hahloon voidaan sijoittaa eri levyisiä liitännäpisteitä tarpeen mukaan. Kuva 21.

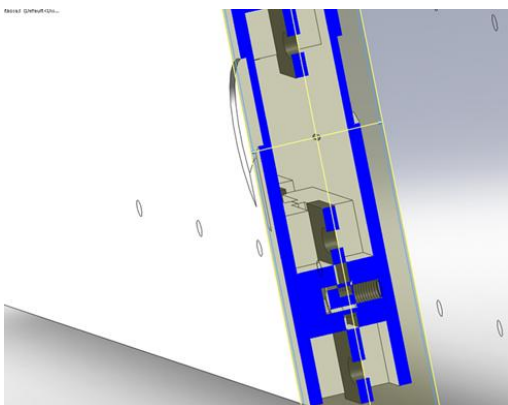


Kuva 21. Kytkenämoduuli ilman etukuorta. Mustat ovat liitännäpisteitä (LIPI). Kaikkiin peteihin mahtuvat sekä leveät että kapeammat liitännäpisteet. Keskellä olevassa poterossa kulkee alihankinnassa tehtävä kytkenäjohto.

Kytkenärakenteen sisällä voidaan käyttää periaatteeltaan ja halkaisijapinnaltaan samoja liitännäpisteitä (LIPI) kuin nyt, joten uutta sähköteknistä tuotekehitystä ei tarvita. Vaadittavat muutokset liitännäpisteisiin ovat liitännäpisteen pituuden lyhentäminen, sekä rei'ityksen muutos: Liitännäpisteisiin tarvitaan jatkossa kytkenäjä varten yksi reikä kumpaankin päähän sekä kytkenäkoteloon kiinnittämistä varten reiät liitännäpisteen keskelle.

Laaditaan uuteen tuotevalikoimaan perustuen vakiokytkenät, jolloin valmiita peruskytkenäelementtejä voidaan tilata varastoon valmiiksi. Ainoastaan poikkeuskytkenät tulevat erillisinä tilauksina, silloinkin kytkenäelementin kuori on sama, ainoastaan johto ja liitännäpisteitten sijainti rakenteen sisällä eroaa perusversioista

Kytkentä suoritetaan yhdellä muuntajan keskelle asennetulla kytkentäelementillä, josta asiakaskytkenät viedään halutusti alas tai ylös. Rakenne tukee molempia versioita. Samaan kytkentäpisteeseen päästään ylhäältä ja alhaalta symmetrisesti samoilla kytkentäosilla. Mikäli asiakaskytkenät halutaan muuntajan yläreunaan, asiakasliitännät voidaan suorittaa omassa tuotannossa tehtyjen kytkentöjen etupuolelle samoihin hahloihin, jolloin kytkentäkengät sijaitsevat liitäntäpisteen molemmin puolin. (Kuva 22). Vaihtoehtoisesti haluttaessa asiakasrajapinnan liitännät muuntajan alaosaan, asiakaskytkenät tulisivat kytkentäelementin alareunassa oleviin liitäntäpisteisiin. Pyritään yhteen kytkentäelementtiin, mutta kytkentämoduulien asentaminen limittäin päällekkäin liitäntäpisteiden määrän lisäämiseksi on myös mahdollista. Kytkentämoduulin keskellä oleva potero tarvitsee mitoittaa worst case -skenaarion mukaisesti, siis jopa 40 kaapelille. Mikäli asennetaan tarvittaessa kaksi samanlaista elementtiä päällekkäin, tila 20 kaapelille riittäisi. Johdinten kuumenemisen vuoksi poteron sisällä kytkentäosaan tarvitaan tuuletus.



Kuva 22. Kytkentämoduulirakenteen poikkileikkaus. Keskellä liitäntäpiste (musta). LIPI on kiinnitetty ruuvilla. Alareunassa näkyy liitäntäpisteen ympärillä tilaa, johon kytkentäkengä mahtuu – molemmin puolin, tai vain toiselle puolelle. Ylhäällä vastaava tila, johon alihankinnassa kytketään johdotus. Keskellä potero, jossa alihankinnassa tehty kytkentäjohdotus kulkee.

Uutta kytkentärakennetta varten valmistetaan yksi kytkentämoduulikoko joka sopii kaikkiin muuntajiin. Moduuli on tällöin pienimpään muuntajaleveyteen ylileveä, isoimpaan kapeampi kuin muuntaja. Kytkentäelementin kotelo on aina sama, vain johdotus rakenteen sisällä muuttuu. Liitäntäpisteet laitetaan ainoastaan koloihin, joissa niitä kulloinkin tarvitaan, eikä kaikkiin hahloihin. Kytkentämoduulin kiinnitys tapahtuu muuntajan sideraudan ylä- tai alalaipioon esimerkiksi L-rautojen avulla.

Rakenteellisesti kytkentäelementti koostuu A- ja B-kuorista. Mahdollisia eri valmistusvaihtoehtoja ovat ruiskuvalu tai koneistus. Mikäli osat halutaan valmistaa koneistamalla, on työstettävyyden huomioitava osan detelji-suunnittelussa. Koneistamalla valmistettava osa olisi kenties halvempi, kun muotin suunnittelu ja valmistuskustannuksilta säästyttäisiin, mutta koska yksi moduulikoko sopii kaikkiin K-sarjan muuntajiin, ei kahden ruiskupuristusmuotin valmistus koteloraakennetta varten ole kovin massiivinen investointi saavutettuun etuun verrattuna.

Kytkentämoduuliratkaisun etuja ovat kustannussäästöt. Kytkentätyö siirtyy osin alihankintaan ja täten oman tuotannon läpimenoaika nopeutuu huomattavasti. Ostoa hyödyttää nimikkeiden väheneminen tuotannossa, koska jatkossa kytkentätyövaiheeseen tarvitaan enää ainoastaan valmis kytkentämoduuli, kengät ja ruuveja sekä L-raudat joilla osa kiinnitetään muuntajaan.

Kytkentätyö itsessään selkeytyy ja helpottuu. Fyysinen rasittavuus vähenee, sillä johtojen vääntäminen sekä mahdollinen jatkaminen poistuvat. Sähkösuunnittelun ja kytkentäjohdotuksen suunnittelun siirtyminen sähkösuunnittelijoiden tehtäväksi nopeuttaa kytkentävaihetta tuotannossa sekä helpottaa kytkentätyön henkistä rasittavuutta.

Seuraavaksi selvitetään kytkentämoduuliratkaisun työvaiheet alihankinnassa sekä omassa tuotannossa.

Alihankinnan osuus

1) Muoviosien ruiskuvalu

2) Kokoonpano

a) Takakuoren asemointi jigiiin.

b) Liitäntäpisteiden asetus hahloihin sähkösuunnitelman mukaisesti.

c) Liitäntäpisteiden kiinnitys koteloon ruuveilla.

d) Johdotus eli kytkentä avoimen kotelorakenteen sisällä sähkösuunnitelman mukaisesti. Työvaihe sisältää irrallisten lankojen katkaisua ja hiontaa, lankojen taivutusta, kenkien asentamista sekä ruuvaamista.

e) Etukuoren asettaminen paikoilleen ja kiinnitys ruuvaamalla.

Oman tuotannon työvaiheet kytkennässä

1) Lankojen taivutus

Käämiltä tulevat langat taivutetaan alas 90 asteen kulmaan siten, että taite on joka langassa samalla korkeudella ja etäisyydellä muuntajasta. Langat tasoitetaan samanmittaisiksi. Lopputuloksena saadaan siisti ja suora lankarivi. Fyysisen voiman käyttötarve poistuu täysin. Kytkentälangan kulutus pienenee, koska ylimääräistä taivutusvaraa ei tarvita, samoin lankojen jatkamistarve poistuu. Taivutukseen suunnitellaan mekaaninen apuväline.

2) Kytkentälankojen käsittely

Taivutettujen lankojen päät hiotaan. Lankojen päihin asennetaan kytkentäkengät kuten tähänkin saakka, erona on, että yhteen kenkään tulee ainoastaan yksi kaapeli.

3) Kytkentämoduulin asennus

Kytkentämoduulin etupaneeli irrotetaan. Kytkentäosa työnnetään paikalleen. Kytkentäkengät ohjataan sisään oikeisiin vastaavalla kohdalla oleviin koloihinsa. Kytkentäkengät kiinnitetään ruuveilla liitäntäpisteisiin. Kiinnitetään moduulin etukuori takaisin paikalleen.

KytKentäosan kiinnittäminen tapahtuu kiinnittämällä kytKentämoduuli siderautaan L-raudalla.

Edellytykset

Uuden kytKentäarakenteen toteuttaminen vaatii käämien suunnittelua siten, että ulostulot ovat määrättyssä järjestyksessä. Tällöin kytKentäkomponentin alapuolelle ei tule enää risteäviä johtimia. Sähkösuunnitelmassa on voitava varmuudella ilmaista, että järjestyksessä oikealta vasemmalle käämistä ulostulevat langat laitetaan järjestyksessä oikealta vasemmalle kytKentäelementin reikiin.

KytKentämoduuliratkaisun edut koko tuotantoketjua ajatellen ovat selvät - myös tuotannon työntekijät ovat tämänkaltaisen ratkaisun kannalla. KytKentätyöstä halutaan yksiselitteinen, ja sähkösuunnittelun halutaan siirtyvän suunnittelijoiden tehtäväksi, pois kytKentätyövaiheessa muuntajakohtaisesti mietittävänä seikkana. KytKentämoduuli on valmis ja selkeä standardiosa, jota voidaan tilata varastoon.

Konseptisuunnittelun tuottamat variantit esiteltiin Trafotek Oy:n edustajalle sekä projektin johdolle. Jatkokehitykseen valittiin edellä esitetty rakennekokonaisuus.

8 PROJEKTIN JATKUMINEN – OHJEISTUS MEKANIKKASUUNNITELUUN

Opinnäytetyön tuloksena saatiin konseptisuunnitelmat mekaniikkaosien detajisuunnittelun pohjaksi. Mekaniikkaosien detajisuunnittelu sekä viimeistely tapahtuvat yhteistyössä Turku AMK:n ja Koneteknologiakeskus Oy:n kanssa, kone-tekniikan, teollisen muotoilun sekä tuotantotalouden opiskelijoista kootun työryhmän voimin. Työryhmä jatkaa kehitys- ja testaustyötä lopullisen mekaniikkaratkaisun valmistamiseksi. Mallinnetuista osista valmistetaan protoja, joilla varmistetaan osien toimivuus tuotannossa ja rakenteessa. Lisäksi laaditaan tuotantotaloudellisia laskelmia uusien osien käytön taloudellisesta kannattavuudesta.

Mekaniikkasuunnittelun jatkaminen on edelleen haasteellista, koska rakenteeseen Trafotek Oy:n toimesta aiottuja muutoksia ei ole päätetty. Kyseiset muutokset vaikuttavat mekaniikkarakenteeseen, joten lopullisen mekaniikkaratkaisun luominen on käytännössä mahdotonta ennen kuin speksit on asiakkaan toimesta yrityksen sisällä yhteisymmärryksessä jäädytetty.

9 YHTEENVETO

Opinnäytetyö oli osa kokonaisprojektia, jonka tavoitteena oli tuottaa Trafotek Oy:n K-sarjan muuntajiin uudet moduulirakenteeseen perustuvat mekaniikkaosat, jotta tuotanto saataisiin standardoitua. Standardoinnin pohjaksi laaditaan muuntajaluokitukset A, B ja C. Luokan A tuotteet ovat yhteensopivista, yleisimpiin tuotteisiin sopivista vakio-osista rakentuvia muuntajia. B-ryhmän tuotteet ovat jonkun verran muutoksia tarvitsevia kokoonpanoja. C-ryhmä on erityistilaus, johon vaaditaan suunnittelua ennen toteutusta. Opinnäytetyön tarkoitus oli laatia konseptisuunnitelmat A-ryhmän tuotteiden mekaniikkaosien suunnittelun pohjaksi.

Projekti oli aloitusvaiheessa myöhässä liki kaksi kuukautta. Vaativaan ja vieraseen aihe-alueeseen sekä massiiviseen muuntajien ja mekaniikkaosien määrään oli perehdyttävä muutamassa viikossa ja hahmotettava kokonaiskuva rakenteista, tuotannosta sekä toiminnasta kokonaisuudessaan. Projekti oli laajuudessaan kiinnostava, mutta raskas ja haasteellinen. Kaikesta huolimatta tulos konseptisuunnittelun osalta saavutettiin sovituksessa ajassa elokuun loppuun mennessä.

Projektin eteneminen konseptisuunnittelun jälkeen viivästyi. Oppilaitosympäristössä toiminta on hidasta ja kankeaa verrattuna työelämään – tämän vuoksi jatkokyöryhmän valinta sekä osien detajli-suunnittelun aloittaminen viivästyivät. Projektin vastuualueet ja yhteydenpito asiakkaaseen olisi pitänyt määrittää selkeämmin. Haastatteluista, kokouksista ja kyselyistä olisi pitänyt laatia validit asiakirjat ja muistiot, mikä olisi estänyt speksien muuntumisen projektin edetessä.

Tuotantomäärien kasvun aikana samanaikaisesti käynnissä olevat laajat uudistukset tietokantojen ja -järjestelmien sekä muuntajan sähköisten rakenneratkaisujen osalta aiheuttivat vaikeutta mekaniikkasuunnitteluprojektin läpiviemiseen. Mekaniikkasuunnitteluun vaikuttavia rajoituksia ja päätöksiä mm. muutosalue, sydänkoot, kotelomuutokset jne. ei ollut yrityksen sisällä yksimielisesti lyöty lukkoon ennen mekaniikkasuunnitteluprojektin aloittamista, vaan rajoittavat tekijät elivät koko prosessin ajan. Lopulliset dimensiot ovat yhä arvoitus. Yksittäisten alihankintaosien hinta toimi kriteerinä sen sijaan, että olisi huomioitu kalliimman osan aiheuttamat hyödyt koko tuotantoprosessi huomioiden.

Opiskelijavoimin toteutettavien projektien valinnassa olisi syytä olla kriittinen ja projektien määrittelyn sekä sisällön olisi oltava selkeä ja rajattu. Projektien laajuus ja vaativuus olisi huomioitava. Näin vaativassa ja laajassa projektissa olisi tarvittu useamman opiskelijan työpanosta. Uuden projektin aloitusta ei kannata sijoittaa kesäloma-aikaan, koska tällöin opiskelija jää suoriutumaan mahdollisesti erittäin haastavaksi osoittautuvista tilanteista ilman taustatukea.

Tämä työn taustalla oleva tietopohja perustuu yrityksen tietokannasta suoritettuun tiedon hakuun ja tuotantoon perehtymiseen Trafotek Oy:n ystävällisen ja kehitysaikeista innostuneen tuotantohenkilöstön avustuksella.

LÄHTEET

- [1] Koneteknologiakeskus 2011. Esittely. Viitattu 28.12.2011
<http://www.koneteknologiakeskus.fi/esittely/koneteknologiakeskus-turku-oy>
- [2] Trafotek 2011. Viitattu 15.8.2011 <http://www.trafotek.fi/>
- [3] Wikipedia 2011. Muuntaja. Viitattu 13.9.2011 <http://www.wikipedia.org/wiki/Muuntaja>
- [4] Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2009. Tasasähköjako- ja vaihtosuuntaaja galvaanisella erotuksella. Viitattu 13.12.2011
<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/62917/nbfi-fe201006041964.pdf?sequence=3>
- [5] Tampereen ammattikorkeakoulu 2005. Jännitteennostomuuntajan mitoitus sähkökonekorjaamon koekentälle. Viitattu 3.1.2012
<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9894/TMP.objres.159.pdf?sequence=2>
- [6] Lauri Aura, Antti J. Tonteri. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet WSOY
- [7] Tampereen ammattikorkeakoulu 2005. Jännitteennostomuuntajan mitoitus sähkökonekorjaamon koekentälle. Viitattu 3.1.2012
<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9894/TMP.objres.159.pdf?sequence=2>
- [8] Oppimateriaali: Muuntajasuunnittelu/Design of Electrical Machines s.17.
- [9] Lauri Aura, Antti J. Tonteri. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet WSOY
- [10] Lauri Aura, Antti J. Tonteri. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet WSOY
- [11] HAMK 2012. Foorumi 2010. Viitattu 9.1.2012
http://portal.hamk.fi/portal/page/portal/HAMKJulkisetDokumentit/Tutkimus_ ja_ kehitys/Valtakunnalliset_verkostonhankkeet/tekniikan_koulutuksen/liitetiedostot/seminaarit/foorumi2010/A3c-Jansson-Lamminpaa.pdf
- [12] SVTEK 2012. Muuntajat. Viitattu 4.1.2012
http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/SVTEK_Muuntajat.pdf
- [13] Lauri Hietalahti. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Tammertekniikka.
- [14] Turun ammattikorkeakoulu 2011. Tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminta. Viitattu 10.1.2012 <http://www.turku.fi/public/default.aspx?contentid=165344&nodeid=7585>
- [15] AMK open journal systems 2012. Viitattu 10.1.2012
<http://ojs.seamk.fi/index.php/kever/article/view/1123/1000w/1123/1000>
- [16] Turun ammattikorkeakoulu 2011. Innovaatiotoiminta Turun AMK:ssa – tiedon ja taidon uusi aika. Viitattu 10.1.2012 <http://www.tfo.fi/public/default.aspx?contentid=237859&nodeid=18002>
- [17] Turun ammattikorkeakoulu 2011. Mikään projekti ei ole liian pieni: KOMEAT – Ketterä kumppani. Viitattu 10.1.2012
<http://www.turku.fi/public/default.aspx?contentid=255824&nodeid=7585>
- [18] Lauri Aura, Antti J. Tonteri. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet WSOY
- [19] Trafotek 2012. The Trafotek way. Viitattu 10.1.2012
<http://trafotekfi.virtualserver24.nebula.fi/company/the-trafotek-way/>

- [20] Teknillinen korkeakoulu 2004. Käyttäjäkeskeinen konseptisuunnittelu, loppuraportti. Viitattu 20.12.2011 www.soberit.hut.fi/T-121/xu/loppuraportti_final_teletapit.pdf
- [21] Konseptisuunnittelun perusteet 2009. Viitattu 10.1.2012
http://www2.uiah.fi/~mmaenpaa/lectures/konseptisuunnittelu_perusteet.pdf
- [22] Sähköturva 2011. Sähkölaitteiden IP-luokitus. Viitattu 1.6.2011
http://www.sahkoturva.info/sahkon_kaytto_kotona/sahkolaitteiden_ip_luokitus/fi_FI/ip_numeroiden_merkitys/
- [23] Tampereen ammattikorkeakoulu. 2006. Jakelumuuntajan elinkaaritutkimus. Viitattu 4.1.2012
<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9883/TMP.objres.853.pdf?sequence=2>
- [24] Veikko Välimaa, Martti Kankkunen, Olle Lagerroos, Markku Lehtinen. 1994. Tuotekehitys. Asiakastarpeesta tuotteeksi. Painatuskeskus Oy.
- [25] Teknillinen korkeakoulu 2004. Käyttäjäkeskeinen konseptisuunnittelu, loppuraportti. Viitattu 20.12.2011 www.soberit.hut.fi/T-121/xu/loppuraportti_final_teletapit.pdf
- [26] ABB 2012. Tehomuuntajat. Viitattu 17.1.2012 http://heikki.pp.fi/abb/110_0007.pdf
- [27] Visma 2012. Toiminnanohjaus. Viitattu 24.1.2012
http://www.visma.fi/Ohjelmistoratkaisut/Ohjelmiston-hankinta/Minka-ohjelmiston-tarvitsen/Toiminnanohjaus---ERP/?snsrc=aws_4c6e2eb2332685d01a25df4ecd4b57648221084737&snkw=ERP&gclid=COjz y5Wz6K0CFTAumAodaV5B4g
- [28] Leansystem 2012. Lean. Viitattu 24.1.2012 <http://www.leansystem.fi/>
- [29] Diesel service&supply 2012. Electrical power calculators. Viitattu 24.1.2012
http://dieselserviceandsupply.com/power_calculator.aspx
- [30] Wikipedia 2012. FMS. Viitattu 24.1.2012 <http://fi.wikipedia.org/wiki/FMS>
- [31] Mechanical Assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development. 2004. Oxford University Press, New York.
- [32] VTT 2011. Työohjeiden laadintamenetelmiä kappaletavaratuotannossa, loppuraportti. Viitattu 23.1.2012 <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2011/W162.pdf>
- [33] Tekes. Keskiraskas ja raskas kokoonpanotoiminta 1998–2000. Teknologiaohjelmaraportti 2/2001, loppuraportti.