



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Paavo Niskakangas

ERIKOISMUUNTAJAN LÄPIVIENTIKO- TELOINNIN KEHITTÄMINEN

Tekniikka ja liikenne
2013

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Vaasan ammattikorkeakoulussa tekniikan ja liikenteen yksikössä kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman opinnäytetyönä ABB Oy:n Vaasan muuntajatehtaalle. Idea opinnäytetyön toteuttamiselle saatiin työskennellessäni vuoden 2012 aikana rakennesuunnittelussa.

Haluan kiittää Vaasan ammattikorkeakoulun puolesta työn ohjaajana toiminutta lehtori Juha Hantulaa ja ABB:llä minua ohjanneita rakennesuunnittelupäällikkö Kari Saloa sekä Layout-suunnittelija Toni Perälää. Kiitos myös muille rakennesuunnittelun kannustaville kollegoille.

Suurimmat kiitokset ansaitsee kuitenkin rakas Anne, kiitos kaikesta tuesta ja ymmärryksestä.

Vaasassa 8.3.2013

Paavo Niskakangas

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Paavo Niskakangas
Opinnäytetyön nimi	Erikoismuuntajan läpivientikoteloinnin kehittäminen
Vuosi	2013
Kieli	suomi
Sivumäärä	52 + 3 liitettä
Ohjaaja	Juha Hantula

Tämän opinnäytetyön aiheena oli erikoismuuntajan läpivientikoteloinnin kehittäminen. Työ toteutettiin ABB Oy:n Vaasan muuntajatehtaalle. Työn tarkoituksena oli kehittää läpivientikotelointia suunnittelusta saadun tehtävänannon mukaan. Toinen tehtävä oli haastatella valmistuksen ja kokoonpanon työntekijöitä. Heidän kanssaan koteloinnin rakenteesta etsittiin epäkohtia, jotka pystyttäisiin korjaamaan koteloiden Layout-ohjattuun 3D-kokoonpanomallipohjaan. Korjatun koteloinnin rakenteen avulla suunnittelussa ja tuotannossa pystyttiin vähentämään turhaa työtä.

Työn alussa suunnittelun kanssa käytiin läpi tehtävänanto. Tehtävänannossa läpivientikoteloinnille haluttiin malli, jossa se ylittää muuntajan kannen kansipulttilinjan. Työn edetessä alihankkijan ja kokoonpanon kanssa tehtiin muutostyöt korjattavaa rakennetta varten. Suunnittelusta saadun tehtävänannon mukainen koteloinnin malli toteutettiin Pro/ENGINEER Wildfire 4.0-suunnitteluohjelmistolla. Läpivientikoteloiden korjaustoimenpiteissä käytettiin Pro/ENGINEERIN Top-Down-mallinnusmahdollisuuksia.

Työn tuloksena läpivientikotelosta saatiin uusi malli, jonka rakenne on jäykempi sekä joustavammin ja helpommin sijoitettavissa muuntajan kannelle. Läpivientikoteloiden Layout-rakenteesta poistettiin valmistuksesta ja kokoonpanosta löytyneet rakenteelliset epäkohdat. Muokattu Layout-rakenne otettiin käyttöön tämän työn loppuvaiheessa. Muokkauksen ansiosta suunnittelussa pystytään välttämään virheitä, joiden korjaaminen on ennen ollut muistinvaraista.

ABSTRACT

Author	Paavo Niskakangas
Title	Developing Terminal Enclosures for Special Transformers
Year	2013
Language	Finnish
Pages	52 + 3 Appendices
Name of Supervisor	Juha Hantula

This thesis was made for ABB Transformers unit at Vaasa. The purpose of this thesis was to develop terminal enclosures for special transformers. In addition, some structural defects were searched from the manufacturing and assembly line. After finding the defects, they were fixed to the Layout-driven 3D-assembly of the enclosures. With the aid of the edited 3D-assembly, there is a reduced amount of unnecessary work in the mechanical design and in the production.

In the beginning of the thesis, the mechanical design unit gave an assignment to edit the structure of enclosure in such a way that it would go over the transformer cover fixing bolts. As the work progressed, a survey of structural defects was made with help of the subcontractor and assembly line. The model of the enclosure was executed with Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 3D-design software. The structural defects were edited with the same software by using its Top-Down-modeling possibilities.

As the result of this thesis, the mechanical design unit got a new model of the enclosure which is more rigid as well as placing it to the cover of the transformer is also more flexible and easier. The structural defects were removed from the enclosure's Layout-structure, and the edited Layout was taken to use at the end of this project. Due to the editing of the Layout-structure, the mechanical design unit is able to avoid mistakes in the editing of which has so far been dependable of the designer's memory.

Keywords	Transformer, Top-Down, Pro ENGINEER, product development
----------	--

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	8
2	ABB.....	9
	2.1 ABB:n historia Suomessa	9
	2.2 ABB Oy Transformers Vaasa	10
3	MUUNTAJA JA MUUNTAJAN VARUSTEET	11
	3.1 Erikoismuuntaja	11
	3.2 Aktiiviosa.....	12
	3.3 Säiliö	14
	3.4 Kansi	15
	3.5 Paisuntasäiliö	16
	3.6 Varusteet	17
	3.7 Läpivientikotelo	18
4	MUUNTAJAN SUUNNITTELU	19
	4.1 Laskelma.....	19
	4.2 Top Down-tekniikka ja Layout-suunnittelu.....	20
	4.3 Rakennesuunnittelu.....	21
	4.4 Läpivientikoteloitten suunnittelu	22
5	SYSTEMAATTINEN TUOTESUUNNITTELU	26
	5.1 Tehtävänasettelun selvitys	26
	5.2 Luonnostelu.....	27
	5.3 Kehittely.....	29
	5.4 Viimeistely.....	29
6	ONGELMIEN KARTOITTAMINEN	31
7	KEHITETTÄVÄT KOHTEET	32
	7.1 Nopeasti muokattavat kohteet.....	33
	7.2 Paljon aikaa vievät kohteet	34
8	LUONNOSTELU JA TUTKIMINEN	36
	8.1 Kotelo ohittaa kansipultit.....	36
	8.2 Kotelon seinämien jäykistäminen.....	40

9 KOHTEIDEN MUOKKAAMINEN KOTELOINNIN RAKENTEESSEEN..	44
10 TULOKSET	47
11 JATKOKEHITYS	50
LÄHTEET	51
LIITTEET	

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1.	s. 12
Kuva 2.	s. 14
Kuva 3.	s. 15
Kuva 4.	s. 16
Kuva 5.	s. 17
Kuva 6.	s. 23
Kuva 7.	s. 25
Kuva 8.	s. 37
Kuva 9.	s. 38
Kuva 10.	s. 39
Kuva 11.	s. 40
Kuva 12.	s. 41
Kuva 13.	s. 42
Kuva 14.	s. 43
Kuva 15.	s. 46
Kuva 16.	s. 49
Taulukko 1.	s. 33
Taulukko 1.	s. 48

LIITELUETTELO**LIITE 1.** Ensimmäinen muutoslista**LIITE 2.** Ote puristilevyn relaatiosta**LIITE 3.** Uuden kotelomallin kuva

1 JOHDANTO

Nykyteollisuudessa tuotekehityksellä on pitkät perinteet. Jotta teollisuusyritys pysyisi nykymarkkinoilla kilpailukykyisenä, sen täytyy kehittää omaa tuotettaan sekä toimintaansa taloudellisesti tehokkaampaan suuntaan. Tuotteen kehityksellä ei kuitenkaan aina ole tuotteen loppukäyttäjän toiminnan kannalta merkitystä. Varsinkin suurissa konstruktioissa kehitettävät kohteet voivat olla tuotteen toiminnan kannalta merkityksettömiä, mutta kehittämällä näitä kohteita voidaan suunnittelussa ja valmistuksessa päästä pienemmillä kustannuksilla.

Tämä opinnäytetyö on tehty ABB Vaasan muuntajatehtaalle. Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää erikoismuuntajan läpivientien kotelointia ja saada muutokset muuntajan Layout-ohjattuun 3D-kokoonpanomallipohjaan. Kokoonpanomallin muokkaamisessa ja käytössä käytetään Pro ENGINEER Wildfire 4.0-suunnitteluohjelmistoa. Työllä pyritään erityisesti korjaamaan vanhoja rakenteellisia epäkohtia koteloinnissa sekä luomaan uusia rakenteellisia ratkaisuja. Muutoksien tavoitteena on saada suunnittelulle vapaammat kädet kotelon sijoittamisen suhteen, säästää koteloinnin rakenteen kustannuksia sekä helpottamaan valmistusta ja kokoonpanoa. Työn kehitettävät kohteet kerätään palaverissa ja haastattelussa asianomaisten henkilöiden kanssa.

2 ABB

ABB:n visio on olla johtava sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä, jonka tuotteet, järjestelmät ja palvelut auttavat asiakkaita hyödyntämään sähköä tehokkaasti, tuottavasti ja ympäristöystävällisesti. ABB syntyi vuonna 1988 ruotsalaisen ASEAn ja sveitsiläisen Brown Boweri-yhtiön fuusiona. ABB:n pääkonttori sijaitsee Sveitsissä Zürichissa ja sillä on henkilöstöä 145 000 yli 100 maassa kaikilla mantereilla. Vuonna 2012 ABB konsernin liikevaihto oli 39 miljardia USD, josta tutkimuksen ja tuotekehityksen osuus oli yli 1 miljardi USD. /4/ /8/

ABB:n toiminta jakautuu viiteen divisioonaan: sähkövoimatuotteet, sähkövoimajärjestelmät, sähkökäytöt ja kappaletavara-automaatio, pienjännitetuotteet ja sessiautomaatio. /2/

2.1 ABB:n historia Suomessa

Vuonna 1889 Gottfrid Strömberg perusti sähköliikkeensä Helsinkiin Eerikinkadulle. Yrityksen liiketoiminnan ydin oli tasavirtakoneet, asuin- ja liikekiinteistöjen valaistuskeskukset sekä asennukset. Aluksi liikkeen toimitilat olivat pihan perällä vanhassa saunassa. Kuitenkin vuonna 1898 rakennettiin uusi tehdas Sörnäisiin ja Pitäjämäen tehdasalue puolestaan valmistui 1910-luvun lopulla. Strömbergin elin-aikana Suomi sähköistyi ja teollistui nopeaa tahtia. Pääosa Strömbergin valmistamista laitteista meni tuolloin teollisuuden tarpeisiin. 1900-luvun alkupuolella Strömberg valmisti pääasiassa generaattoreita ja moottoreita. Teollinen muuntaja-valmistus alkoi vuonna 1914. /11/

1940-luvulla Strömberg siirsi osan tuotannostaan Vaasaan Huutoniemen tehdas-alueelle rautatien ja maantien läheisyyteen. Yhtiö osallistui sotatarviketuotantoon ja Vaasan katsottiin olevan pääkaupunkiseutua turvallisempaa aluetta. Vaasassa tuotanto alkoi 1944. Sotakorvauksiin Strömberg osallistui toimittamalla muuntajia, moottoreita sekä generaattoreita. /6/ /20/

Tuotanto on jatkunut tähän päivään saakka. Suomessa Strömberg on toiminut lukuisten sähkö- ja elektroniikkalaitteiden kehittäjänä ja edelläkävijänä. Vuonna 1987 Strömberg siirtyi ruotsalaisen ASEAn omistukseen, joka fuusioitui vuotta

myöhemmin Brown Bowerin kanssa ABB:ksi. Uusien kansainvälisten markkinointi- ja myyntikanavien myötä suomalaisten ABB-yhtiöiden vienti kaksinkertaistui. /6/ /7/

2.2 ABB Oy Transformers Vaasa

Muuntajien tuotanto siirrettiin vuosien 1955–1956 aikana Helsingistä Vaasaan. Nykyään ABB Vaasan tehtaalla valmistetaan asiakkaan tarpeiden mukaan räätälöityjä erikoismuuntajia. Erikoismuuntajia käytetään haastavissa ympäristöissä ja sovelluksissa, kuten öljylautoilla, teollisuuslaitoksissa sekä meri- ja rautatieliikenteessä. ABB Vaasan muuntajatehdas kuuluu sähkövoimatuotteet-divisioonaan. Muuntajatehdas työllistää n. 330 henkilöä ja sen liikevaihto vuonna 2012 oli 106 milj. euroa. /2/ /3/

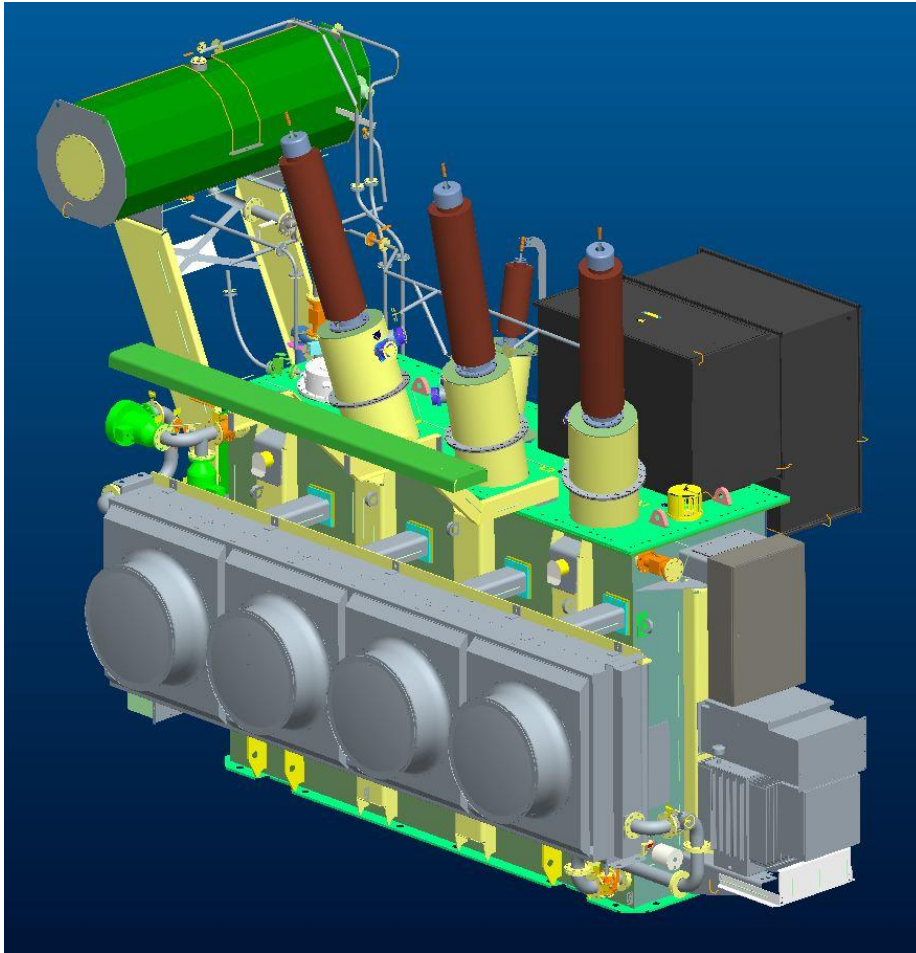
3 MUUNTAJA JA MUUNTAJAN VARUSTEET

Muuntaja on yksi sähköverkon avainkomponenteista. Sähköverkoissa siirretään sähköenergiaa korkeajännitteisenä helpon hallinnan takia. Jotta taloudet voisivat käyttää samaa sähköenergiaa tulee se muuttaa pienijännitteiseksi. Muuntajan tehtävänä on muuttaa korkeajännitteinen siirtoverkon jännite matalammaksi jakeluverkon jännitteeksi. /12/

Muuntaja perustuu sähkömagneettiseen induktioon, jossa ensiöpuolen käämille kytketty jännite synnyttää rautasydämeen muuttuvan magneettivuon. Magneettivuon lävistäessä samalla sydämellä olevan toisiökäämin, indusoituu siihen eri jännite kuin ensiökäämissä. Muuntajan toimintaperiaate on pysynyt samana jo yli 100 vuotta, myös sen rakenne on pääpiirteittäin pysynyt samana eli magneettisesti johtava sydän ja sähköisesti johtavat käämit. /12/

3.1 Erikoismuuntaja

Erikoismuuntaja on pääpiirteittäin samanlainen kuin muutkin muuntajat, mutta se on räätälöity asiakkaan toivomuksien mukaan (**Kuva 1.**). Se sisältää samat osat kuin normaali muuntajakin: aktiiviosan, säiliön, kannen, paisuntasäiliön ja varusteet, johon kuuluu erilaiset suoja- ja mittalaitteet. Erikoismuuntajasovelluksia ovat yleensä rautatiemuuntajat, uuni- ja tasasuuntaajamuuntajat, laivamuuntajat, Offshore-muuntajat sekä kuristimet. /3/ /12/



Kuva 1. Erikoismuuntaja läpivientikotelolla, apumuuntajalla ja jäähdyttimillä.

3.2 Aktiiviosa

Aktiiviosa on muuntajan tärkein osa (**Kuva 2.**). Sen tehtävänä on alentaa jännite-taso halutulle käyttötasolle. Muuntajan aktiiviosan muodostavat rautasydän ja käämit. Muuntajan sähköiset arvot, kuten teho ja muuntosuhde, ovat yleensä va-kioituja. Tämä tarkoittaa myös aktiiviosan olevan monesti vakioitu. Vakioratkai-sujen ansiosta sähkön jakelu yksinkertaistuu, jolloin pystytään vastaamaan suu-rempaan tarpeeseen mahdollisimman pienellä variaatiolla. Monet teollisuuden so-vellukset eivät kuitenkaan pysty käyttämään samoja vakioratkaisuja joita tavalli-nessa sähkönjakelussa käytetään. Tämä on luonut tarpeen erikoismuuntajille, joi-den tarkoituksena on saada sähkönjakaminen mahdolliseksi myös teollisuuden tarpeisiin. Erikoismuuntajan sähköiset arvot voivat poiketa normaalimuuntajaan

verrattuna hyvinkin paljon. Myös niiden aktiiviosan rakenne voi poiketa vakioratkaisuista ja niissä voi olla useampi aktiiviosa. /12/

Aktiiviosan sydämen päätehtävä on ohjata magneettivuo haluttujen käämien kautta. Sydän koostuu pylväistä, jotka yhdistetään ylä- ja alaikeellä. Osat ladotaan ohuista sydänlevyistä tietyn ladontatavan mukaan, riippuen siitä minkälaiset sähköiset arvot muuntajalle on suunniteltu. Sydänlevyjen materiaalina käytetään kidesuunnattua muuntajalevyä. Siinä magneettivuo pääsee kulkemaan helposti pituussuuntaan, mutta kohtaa suuren vastuksen poikittaissuunnassa. /12/

Sydämen lisäksi aktiiviosaan kuuluu käämit, joita on vähintään kaksi ylä- ja alajännitekäämi. Erikoismuuntajassa voi kuitenkin olla useampia alajännitekäämityksiä. Käämien järjestyksessä alajännitekäämi on yleensä käämittynä sisemmäksi, sillä se on helpompi eristää sydänpylvästä pienemmän jännitteen takia. Myös ylä- ja alajännitekäämit on eristettävä toisistaan. Itse käämit valmistetaan joko puhtaasta kuparista tai sähköalumiinista, riippuen asiakkaan toiveista sekä raaka-aineiden hinnasta ja muuntajalle asetetuista häviövaatimuksista. /12/



Kuva 2. Muuntajan aktiiviosa kiinnitettynä kanteen.

3.3 Säiliö

Muuntajan säiliö toimii paitsi aktiiviosan suojana myös öljysäiliönä (**Kuva 3**). Muuntajassa käytetään öljyä jäähdyttämään ja eristämään aktiiviosaa. Säiliö on muuntajan kantava runko, sen täytyy kestää säiliön sisälle imettävä tyhjiö sekä ulkoilman aiheuttavat rasitukset. Säiliö koostuu noin 16 – 20 mm paksusta pohjalevystä, 8 – 10 mm paksuista palkein tuetuista seinistä sekä 16 – 30 mm paksusta kaulavanteesta. Näiden lisäksi säiliöön voidaan hitsata erilaisia laippoja varusteita ja huoltoluukkuja varten. /12/

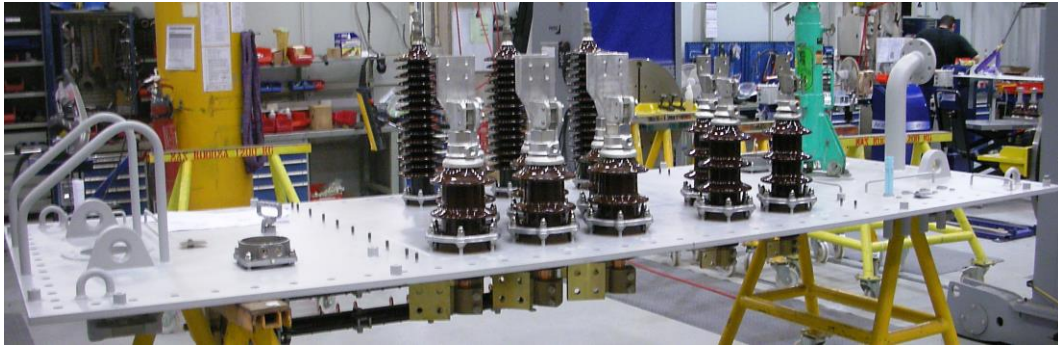


Kuva 3. Muuntajan säiliö.

3.4 Kansi

Kokoonpanovaiheessa aktiiviosa kiinnitetään muuntajan kanteen, jonka avulla aktiiviosa lasketaan säiliöön. Kannen tehtävänä on tukea aktiiviosan kiinnitystä ja vahvistaa säiliön rakennetta. Kansi kiinnitetään säiliön kaulavanteeseen joko pulttiliitoksilla tai hitsaamalla. Kannelle asennetaan myös suurin osa muuntajan varusteista ja mittalaitteista sekä yleensä myös läpiviennit (**Kuva 4**). /12/

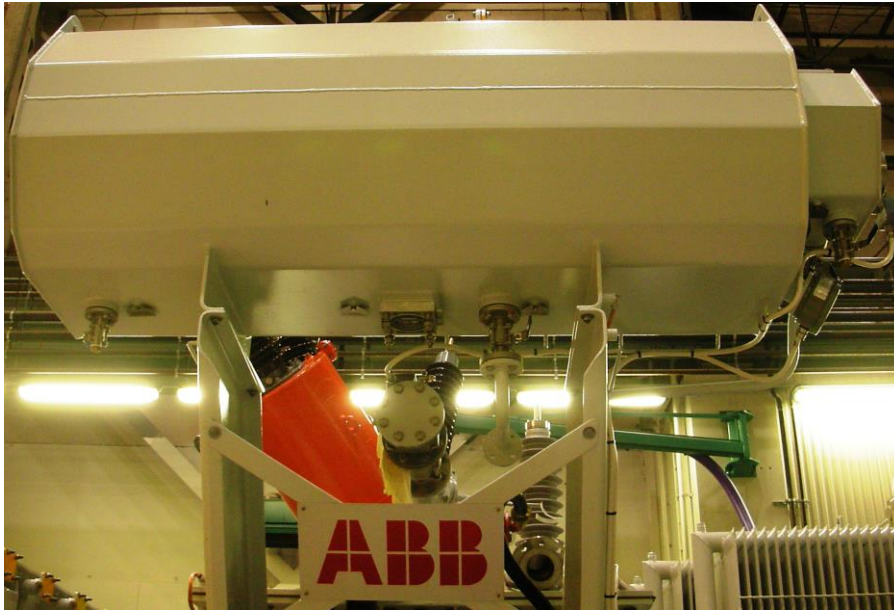
Muuntaja kytketään sähköverkkoon läpivientien kautta. Läpiviennit toimivat myös eristeinä kytkentäjohtimen ja maapotentiaalissa olevan kannen tai säiliön sekä kaapeleiden tai kiskojen välillä. Yleisin käytetty läpivientityyppi on posliiniläpivienti, mutta myös kuparikiskoläpivientejä käytetään. Erikoismuuntajissa läpivientejä suojaamaan on voitu rakentaa läpivientien kotelointi. /12/



Kuva 4. Muuntajan kansi posliiniläpivienneillä

3.5 Paisuntasäiliö

Muuntajan lämpötilan kasvaessa sen öljyn tilavuus kasvaa. Koska muuntajan säiliö täytetään öljyllä kanteen asti, tarvitsee öljy myös tilan jonne se pääsee vapaasti siirtymään. Vastaavasti lämpötilan laskiessa öljyn pinnankorkeus ei saa päästä alenemaan aktiiviosan tasolle säiliössä. Tätä varten on tehty paisuntasäiliö (**Kuva 5.**). Paisuntasäiliö täytetään valmiiksi noin puolilleen öljyä, jotta lämpötilan laskiessa öljynpinta ei pääse laskemaan liaksi ja taas lämpötilan noustessa sillä on tilaa nousta vapaasti. /12/



Kuva 5. Muuntajan paisuntasäiliö.

3.6 Varusteet

Muuntajan häviöistä johtuen sen sisällä voi aiheutua lämpötilan nousua. Jottei lämpötila muuntajassa nousisi liikaa, tarvitaan muuntajaan erilaisia jäähdyttimiä. Jäähdyttimiä voi olla mm. suuripinta-alaiset radiattoorijäähdyttimet, joihin monesti asennetaan tuulettimet lisäämään läpivirtaavan ilman määrää. Jäähdytyksessä voidaan käyttää tavanomaisten radiaattoreiden lisäksi vesijäähdytystä. /12/

Koska muuntajien läpi kulkee suuri jännite, täytyy niiden myös täyttää tietyt kansainväliset turvallisuusmääräykset. Muuntajien tarkkailua varten niihin on asennettavissa erilaisia mittareita mm. öljynkorkeuden osoittimia ja öljyn sekä käämien lämpötilamittareita. Muita turvalaitteita ovat kaasurele sekä ylipaineventtiili. Kaasureleen tehtävänä on suojella muuntajaa päästämällä esimerkiksi ylikuumentumistilanteessa syntyvä kaasu ulos. Muuntajassa syntynyt kaasu aiheuttaa ensin hälytyksen ja kaasun kerääntymisen jatkuessa rele päästää sen ulos. Ylipaineventtiili on suojavaruste, joka on rakennettu laukeamaan kun tietty paine ylittyy. Ylipaineventtiilin tehtävänä on päästää öljy ympäristöön hallitusti ja pitää vuotanut öljymäärä mahdollisimman pienenä, jottei ympäristö pääsisi pilaantumaan. /12/

Lämpötilamuutosten takia muuntajan öljyn tilavuus vaihtelee. Paisuntasäiliössä tämä näkyy öljynkorkeuden vaihteluina. Aina kun öljynkorkeus laskee, tuo se tilalle ilmaa. Ilmankuivaimen tehtävänä on pitää paisuntasäiliöön tuleva ilma kuivana, jottei kosteus pääsisi paisuntasäiliön kautta muuntajan öljyyn ja sen mukana muuntajan eristeisiin. /12/

3.7 Läpivientikotelo

Erikoismuuntajissa läpivientejä ja läpivientien johtimien liitoksia varten voidaan muuntajan kannelle rakentaa läpivientikotelo. Kotelon tehtävänä on suojata läpivientejä ja johtimien liitoksia ulkoisilta uhkilta, kuten lialta, vedeltä, lumelta ja jäältä sekä kovalta tuulelta sekä toimia jännitteisten osien kosketussuojana. Kotelot voivat olla joko ylä- tai alajännitepuolella tai käytössä on ns. yhteinen kotelointi, joka suojaa molempia. Muuntajan kannella voi olla myös useita koteloidia.

Koteloiden koko vaihtelee muuntajien jännite-etäisyyden, tehon ja täytettävien vaatimusten mukaan. Kotelot ovat aina yksilöllisiä ja tehdään sopivaksi kyseessä olevan muuntajan mukaan. Kotelointi rakennetaan 2 – 3 mm paksusta teräksestä tai ruostumattomasta teräksestä. Kotelointi koostuu yleensä kahdesta tai kolmesta eri rungosta, mitkä liitetään yhteen niittimutterein ja ruuvein. Kotelointi kiinnitetään muuntajan kanteen kansipulteilla. Muuntajan kannen ja koteloinnin kiinnityksiä on tehty samalla jaolla. Kansipulttien lisäksi kotelo kiinnitetään muuntajan kanteen hitsatuilla ruuveilla ja terästassuilla.

Koteloille asetettu tiiveysluokka on IP55 eli niiden tulee olla suojattuna pölyltä sekä kestävä joka puolelta tulevaa vesisuihkua. Jotta kotelo olisi tarpeeksi tiivis, asennetaan kotelon ja kannen väliin korkkitiiviste ja kotelon rungon eri osien sekä päätylevyn ja rungon väliin kumitiiviste. Lämpötilavaihteluiden vuoksi kotelointiin saattaa kondensoitua vettä. Tämä pyritään estämään asentamalla koteloon ilmanvaihtotulpat ja lämmitysvastukset.

4 MUUNTAJAN SUUNNITTELU

Erikoismuuntajien suunnittelussa oman haasteensa luo muuntajien yksilöllisyys. Tämän takia erikoismuuntajaa suunniteltaessa voidaan vain harvoin käyttää pohjana edellisiä muuntajamalleja. Jotta muuntajien suunnittelu olisi mahdollisimman nopeaa, on ABB Vaasan muuntajatehtaalla otettu käyttöön Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 3D-suunnitteluohjelmisto.

Kuten lähes kaikki 3D-suunnitteluohjelmistot, myös Pro/ENGINEER on parametrisen mallinnukseen perustuva, lisäksi siinä on hyvin kehittyneet pintamallin-
nusominaisuudet. Sillä voidaan nopeasti piirteiden avulla luoda 3D-malleja erillisten 2D-luonnoksien avulla. Ohjelmiston vahvuuksia on myös nopea kokoonpanomallien luonti. Kokoonpanomallit koostuvat useista erillistä 3D-malleista tai komponenteista, jotka voidaan liittää yhteen eri rajoitteiden avulla. Rajoitteet määräävät mm. kappaleen paikkaa ja liikkuvuutta koskevat asiat. Yhdessä kokoonpanomallissa voi olla jopa tuhansia osia, joita voidaan ohjata parametrien ja relaatioiden avulla. /5, 1-4/

Parametrit ovat arvoja, joita käytetään komponenttien numeroimiseen, nimeämiseen ja kuvailemiseen. Parametrejä voidaan myös linkittää luurankomalliin, jolloin niille voidaan antaa mittoja, kuten pituuksia, paksuuksia ja kulmia. Relaatiot taas ovat parametriyhtälöitä, jotka joko määrittää vakion muuttujan tai suhteen kahden tai useamman muuttujan välillä. /9/ /14/

Myös piirustusten luominen on yksinkertaista, sillä ohjelmalla on jo tiedossa osien geometria, jolloin osista tarvitsee vain valita oikea projektio. Pro/ENGINEERin eduksi voidaan katsoa myös levyosien tekeminen ja niiden piirustusten luominen. Levyosissa piirustuksiin lisätään yleensä auki levitetty kuva taivutetuista osista oikean mitoituksen saamiseksi taivutukohtiin. Muuntajien suunnittelussa Pro ENGINEERiä käytetään myös johdotuksien tekemiseen. /5, 4-5/

4.1 Laskelma

Muuntajan suunnittelu aloitetaan muuntajan laskelman tekemisellä. Laskelmassa määrätään muuntajan aktiiviosan mitoitus, sähköiset arvot sekä muuntajan raken-

teen kannalta kriittiset rakenneratkaisut. Laskelmassa määrätään yleensä myös muuntajan tärkeimmät tilattavat pitkän toimitusajan ostokomponentit.

4.2 Top Down-tekniikka ja Layout-suunnittelu

Koska lähes jokainen muuntaja on erilainen, käytetään muuntajien suunnittelussa hyödyksi Pro/ENGINEERin parametrisuutta ja ohjelmoitavuutta. Yksi tapa hyödyntää Pro/ENGINEERin ominaisuuksia on ns. Top Down-tekniikka. Normaalisti suunnittelu tapahtuu Bottom Up-tekniikkaa käyttäen eli ensiksi luodaan osien 3D-mallit, joista tehdään kokoonpano. Osien sopivuus kokoonpanossa varmistetaan säätämällä yksittäisiä osia manuaalisesti. Tämä lisää virheiden vaaraa, sillä tieto muokatusta osasta ei nyt siirry muihin osiin. Menetelmä on myös hyvin hidas isoilla kokoonpanoilla. /15/

Top Down-tekniikka on Bottom Up-tekniikan vastakohta. Siinä osien välinen tieto ja itse osien tieto määrätään jo päätason kokoonpanorakenteessa. Tieto ohjataan päätason kokoonpanosta alemmille rakenteille relaatioiden ja parametrien avulla. Näin koko tuotetta ohjaava tieto sijaitsee keskitetysti yhdessä paikassa. Nyt muutos voidaan tehdä yhdellä päätasolla, josta se siirtyy alemmille tasoille. Tämä helpottaa tuotteen suunnittelua ja hallintaa suurilla kokoonpanorakenteilla. Top Down-suunnittelulla saavutetaan lyhyempi suunnittelu-aika, pienempi virheiden määrä, parantunut laatu, helpompi projektin johdettavuus sekä tieto osien välisistä sopivuuksista. /15/ /18/

Laskelman jälkeen muuntajan suunnittelu jatkuu Layout-suunnittelulla. Layout-suunnittelijat käyttävät hyväksi Top Down-menetelmää määrittämällä laskijoilta saadun laskelman perusteella muuntajan ulkoiset mitat, aktiiviosan tiedot, sähköiset arvot ja käytettävät komponentit taulukkomaiseen käyttöliittymään eli Layoutiin. Tiedot tallentuvat parametreina ja koska Layout on linkitetty kokoonpanorakenteisiin ja osiin, ohjaavat parametrit myös osia sekä kokoonpanoa. Vaikka lähes jokainen muuntaja on erilainen, Top Down-suunnittelun ansiosta suunnittelussa voidaan käyttää samaa Layout-pohjaa.

Parametrit vaativat myös rungon jota ne voisivat määrittää. Luurankomallilla tarkoitetaan päätason kokoonpanon pohjaa, jota parametrit määrittävät. Sen tehtävänä on ohjata kokoonpanoa ja sen osia. Luurankomalli koostuu useista aputasoista, koordinaatistoista, apuakseleista ja luonnoksista. Luurankomalli ei kuitenkaan ole vielä tarkka kuva tuotteesta, se sisältää vain pääpiirteet tuotteesta sekä tiedon kokoonpanon ohjausta varten. Luurankomallissa vältetään osien väliset suhteet, kun kaikki tieto osista on sidottu luurankomalliin. Luurankomallia ohjataan Layoutin kautta. /15/

Lopputuloksena saadaan lähes valmis muuntajan malli osineen ja kokoonpanorakenteineen. Layout-suunnitteluun kuuluu myös muuntajan mittakuvan tekeminen, josta näkee muuntajan päämitat ja tärkeimmät komponentit. Mittakuvaan on myös esitetty asennuksen kannalta oleellista tietoa mm. muuntajan kiinnitystapa ja läpivientien paikat. Jotta muuntajan kuljetus olisi turvallista, tekevät Layout-suunnittelijat myös kuljetuskuvan, josta käy ilmi muuntajan nostoon ja kuljetukseen liittyvät tiedot, kuten paino, nostopaikat, sidontakohdat sekä painopiste.

4.3 Rakennesuunnittelu

Rakennesuunnittelu aloitetaan Layout-suunnittelun valmistuttua. Rakennesuunnittelu on viimeinen suunnitteluvaihe ennen tuotantoa, siksi suunnittelijan tulee kiinnittää erityistä huomiota rakenteisiin ja yksityiskohtiin. Tässä vaiheessa varmistetaan käytettävät materiaalit sekä ostettavien osien yhteensopivuus muun rakenteen kanssa. Rakennesuunnittelussa tehdään usein pieniä muutoksia muuntajan rakenteeseen, kuten lisätään ja vaihdetaan kaapeliratojen määrää, lisätään tukia, tehdään muutoksia kiinnitysoosiin ja lisätään tunnistekilvet. Rakennesuunnitteluvaiheessa on mahdollisuus tehdä vielä suuriakin rakenteellisia muutoksia.

Rakennesuunnitteluun kuuluu myös osien ja kokoonpanorakenteiden piirustusten tekeminen. Piirustuksissa kiinnitetään erityistä huomiota valmistuksen kannalta tärkeisiin mittoihin sekä pidetään yleensäkin silmällä osien valmistamismahdollisuutta suhteutettuna kustannuksiin. Kaikki piirustukset ovat identifioituja juuri tietylle osalle tai kokoonpanolle sekä projektille. Piirustusten tekemisen jälkeen rakennesuunnittelija ajaa muuntajan rakenteen Mechanical Design System

(MDS)-ohjelmistoon. MDS on tuotehallinnan mahdollistava ohjelma. Se sisältää muuntajassa käytettävät osat, niiden materiaalin sekä kaikki eri kokoonpanot ja kokoonpanotasot. Kun rakenne on kunnossa, jatkuu muuntajan matka MDS:stä oston kautta tuotantoon.

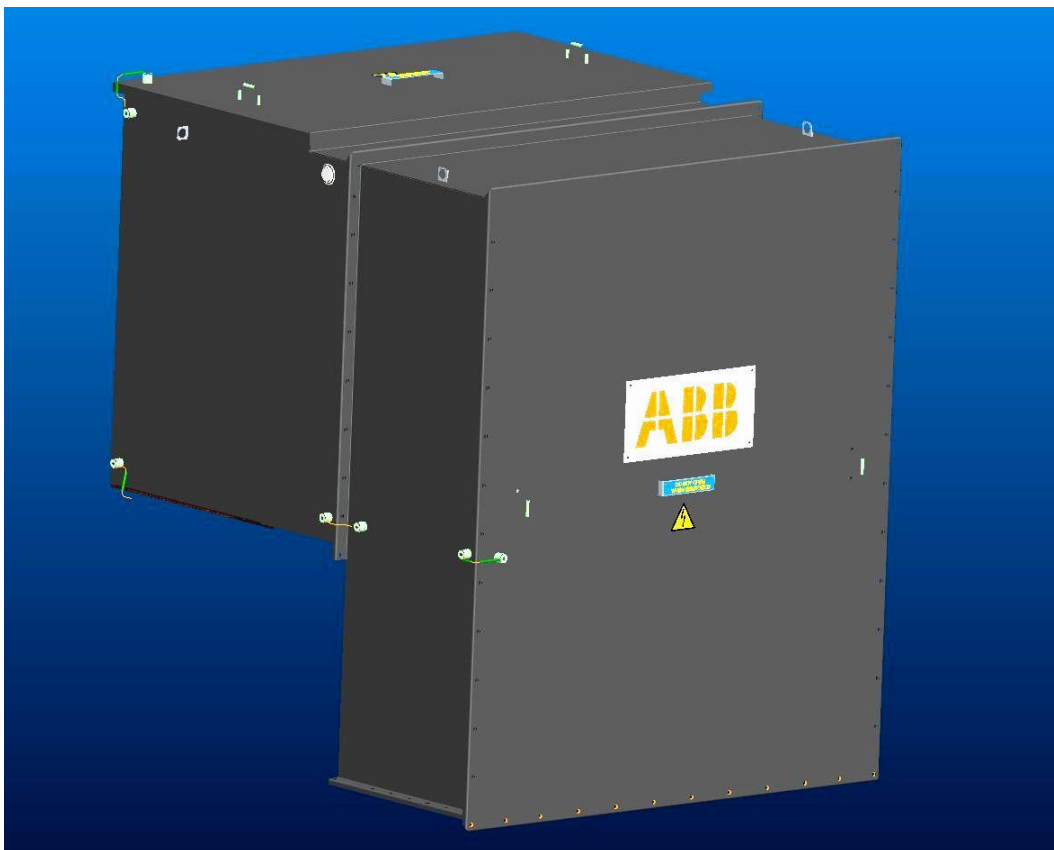
Rakennesuunnitteluun liittyy oleellisena osana tuntemus teräsosien suunnittelusta, koska muuntajan kantavat rakenteet on rakennettu teräksestä tai ruostumattomasta teräksestä. Jotta muuntajan valmistuskustannukset voitaisiin pitää matalana, tulisi rakennesuunnittelijan hallita teräsosien suunnittelusta erityisesti liitosmenetelmät, sekä valmistusmenetelmät. Myös teräksen tuntemus materiaalina ja lujuusopillinen näkemys ovat rakennesuunnittelijalle tärkeitä ominaisuuksia.

Muuntajien teräsrakenteissa käytetään sekä ohutlevyjä että karkealevyjä. Sen sijaan standardisoitujen profiilien käyttö on hyvin vähäistä. Osallaan tämä selittyy sillä, että on nopeampaa suunnitella kokonaan uusi osa kuin etsiä ensin sopiva profiili ja muokata sitä. Uusien osien luominen on myös kustannustehokkaampaa, kun kaikki osat leikataan ja taivutetaan levyistä. Näin vältetään suurilta varastoilta, joissa on erikokoisia profiileja.

4.4 Läpivientikoteloiden suunnittelu

Läpivientikoteloiden rakenne ja pääpiirteet saadaan muuntajan Layoutista (**Kuva 6.**). Rakennesuunnittelijan tulee kuitenkin tarkastaa koteloinnista jännite-etäisyyden riittävyys, tiiveys, rakenteellinen kestävyys, nostojen paikat ja varmistaa riittävä ilmankierto koteloinnissa.

Jännite-etäisyydellä tarkoitetaan etäisyyttä, jonka sähkö voi kulkea ilmassa johtimesta lähellä olevaan kohteeseen. Esimerkiksi koteloinnin suunnittelussa tämä tarkoittaa sitä, että kotelon seinämät ja eri vaiheiden kiskot ovat riittävän kaukana toisistaan. /16/



Kuva 6. Läpivientikotelon 3D-malli

Koska koteloiden päätykappaleet tulevat yli muuntajan kannesta ja voivat olla erittäin isoja, on suunnittelijan hyvä varmistaa niiden kestävyys. Suurille päätykappaleille, etenkin ala- ja yläjännitekoteloissa, on tarpeen lisätä erillisiä tukia kotelon ja muuntajan säiliön väliin. Koteloiden suuren koon takia tulee suunnittelijan varmistaa turvallisen noston mahdollisuus lisäämällä koteloon nostokorvia ja optimoimalla niiden paikat.

Erikoismuuntajissa käytetyt läpivientikotelot ovat ohutlevytuotteita. Ohutlevytuotteella tarkoitetaan rakennetta, jonka materiaalina on teräs- tai ruostumaton teräslevy, jonka paksuus on alle 4 mm. Ohutlevytuotteiden etuina on suuri muokattavuus, pieni massa sekä pienet materiaalikustannukset. /10, 3/

Kotelon seinämät leikataan laserpolttoleikkauksella 3 mm:ä vahvuisesta teräs- tai ruostumattomasta teräslevystä. Laserpolttoleikkaus on hyvin tarkka ja nopea me-

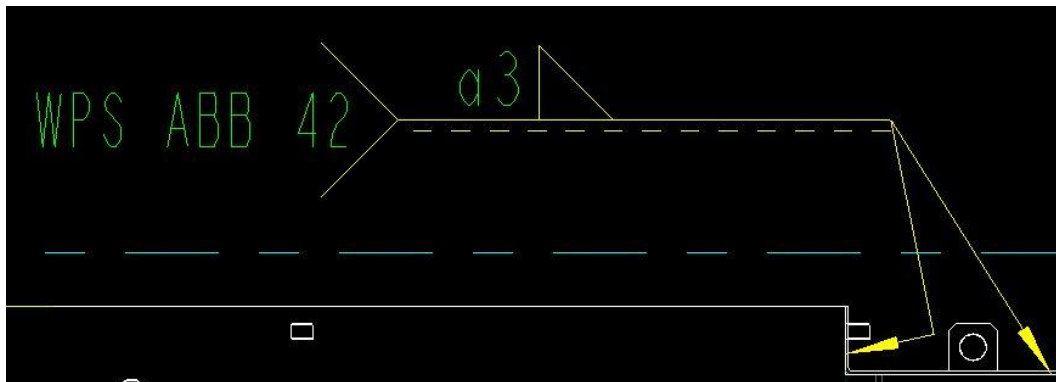
netelmä verrattuna perinteiseen polttoleikkaukseen, eikä se vaadi suunnittelijalta erityistä huomiota. Laserin etuna on myös leikattavan muodon vapaus. Osiin voidaan esimerkiksi suunnitella erilaisia olakkeita, jotka sopivat tarkasti vastakappaleeseen. Tällaisista olakkeista ja ulokkeista voi olla hyötyä hitsausvaiheessa. Esimerkiksi niittimuttereiden 6-kulmaiset reiät ja ruuvien pyöreät reiät tehdään laserleikkauksen yhteydessä. Laserleikkausta ei ole sidottu ennalta sovittuihin standardimittoihin, vaan esimerkiksi pitkällä kappaleilla suunnittelija voi vapaasti suunnitella kappaleen, jonka nestausohjelman tekijä jakaa levyaihioihin sopivaksi. Leikatut osat voidaan liittää toisiinsa hitsaamalla, esimerkiksi suurien läpivientikoteloiden päätyluukut tehdään jatkamalla leikattuja aihioita. /10, 158-159, 162-165/

Leikkauksen jälkeen kotelon seinämät taivutetaan suunniteltuun muotoon. Taivutuksia suunniteltaessa suunnittelijan tulee ottaa huomioon taivutuksien takaisinjousto. Takaisinjouston takia on hankala tehdä tarkkoja rakenteita, joka otetaan huomioon esimerkiksi reikien ja kiinnityskohtien mitoituksessa. Muutenkin tarkat kiinnitysreiät tulisi sijoittaa tarpeeksi etäälle taivutuskohdista. Taivutussäteen mitoittaminen on myös tärkeää, sillä mitä pienempi taivutussäde, sitä suurempi on ulkopinnan venymä ja murtumisen vaara kasvaa. Taivutuksesta olisi hyvä tietää pienin mahdollinen taivutettavan reunan korkeus eli minimilaippakorkeus. Laippakorkeuden ollessa liian pieni, voi työn jälki olla huonoa tai pahimmillaan se voi vaurioittaa taivutuskonetta /10, 239, 245, 249, 255/

Ohutlevytuotteiden liittämismenetelmät voidaan jakaa hitsausliitoksiin, juottoliitoksiin, liimaliitoksiin ja mekaanisiin liitoksiin. Käytettävän liittämistavan valintaan vaikuttavat kappaleeseen kohdistuvat kuormitukset, olosuhteet, huollettavuus sekä tuotannossa käytettävä laitekanta. Läpivientikoteloissa käytetään hitsaus- ja mekaanisia liitoksia. /10, 274/ /17, 42/

Kotelot koostuvat 2 – 3 kokoonpanosta. Nämä kokoonpanorakenteet koostuvat kotelon seinästä, mitkä liitetään toisiinsa hitsiliitoksin. Koteloon ei kohdistu kovin suuria kuormia, joten olisi kannattavaa käyttää pistehitsauksia. Kuitenkin koteloille asetetun tiiveysluokan takia käytössä on kaarihitsausmenetelmät. Kaarihitsauksen haittapuolena voidaan kuitenkin nähdä sen tuoma suuri lämpömäärä, joka aiheuttaa ohutlevyrakenteessa paljon muodonmuutoksia. Suunnittelijan on

otettava tämä huomioon kotelon mitoituksen tarkkuudessa. Piirustuksiin suunnittelija merkitsee hitsattavan kohdan hitsausmerkillä, johon on liitetty hitsin koko, tapa, muoto ja lisäaineen tiedot (**Kuva 7.**). /10, 275, 284, 292-295/



Kuva 7. Hitsausmerkki kertoo käytössä olevan hitsausohjeen sekä hitsin koon ja muodon.

Ohutlevyrakenteisiin on tarjolla runsaasti erilaisia mekaanisia liittämistekniikoita. Useimmat näistä menetelmistä ovat päällekkäis- ja limittäisliitoksia. Mekaaninen liittäminen tapahtuu erillisten kiinnittimien avulla tai ilman kiinnikkeitä, jolloin kappaleiden liittäminen tapahtuu muuttamalla kappaleen muotoa. Läpivientikotelossa mekaanisista liittämistavoista käytössä on vain ruuvien ja niittimutterin välisiä liitoksia. Niittimuttereille tarvitaan valmis reikä, johon se voidaan asentaa. Niittimutterit asennetaan erillisten kokoonpanorakenteiden seinämien liitoskohtiin. Tämän jälkeen kokoonpanot liitetään yhteen ruuveilla. Suunnittelussa on hyvä huomioida, että liitettävässä kokoonpanossa on oltava riittävän isot ruuvireiät, jotta vetomutterit ja reiät osuvat kohdalleen. /10, 331, 333/

5 SYSTEMAATTINEN TUOTESUUNNITTELU

Tekniikan kehittyessä jatkuvasti, jää tuotteiden elinkaari lyhyeksi. Tämä lisää tuotteille uusia vaatimuksia, esimerkiksi viranomaisten määräämiä turvallisuusvaatimuksia, laatuun kohdistuvia vaatimuksia sekä kustannusvaatimuksia. Vaatimukset ilmenevät kansainvälisinä tuotevastuumääräyksinä ja standardeina. /13/

Tuotteiden elinkaaren jäädessä lyhyeksi kiristyy myös kilpailu siitä, kuka saa tuotensa ensimmäisenä markkinoille. Tästä johtuen yrityksen tulee keksiä uusia tapoja parantaa vanhaa tuotetta sekä kehittämään uutta, jotta menestys olisi taattu myös pitkällä aikavälillä. Tuotekehityksen impulsseja voi markkinatoiveiden lisäksi olla myös asiakkaiden taholta tulevat virikkeet ja kritiikki, kilpailevien tuotteiden tekninen etumatka, omat ideat ja tutkimustulokset, uusien valmistusmenetelmien käyttöönotto tai tuoterakenteen ja valmistusrakenteen rationalisoituminen. /13, 54–56/

Kehityksen tarpeita vastaamaan on kehitetty systemaattinen suunnittelumetodi VDI 2222. Systemaattinen suunnittelumetodi on osa tuotekehityksen prosessia. Systemaattisen metodin avulla on mahdollista seurata suunnitteluprosessia, lisäksi se selventää suunnittelun tavoitteita ja luonnetta. Järjestelmällä pyritään myös estämään lopputuloksen syntyminen sokkona, jolloin valmistumisvaiheessa tuotteessa voi ilmetä puutteita riittämättömien yksityiskohtien suunnittelun takia. /1, 3/ /19/

Systemaattinen suunnittelumetodi voidaan jakaa seuraaviin neljään vaiheeseen:

- tehtävänasettelun selvitys
- luonnostelu
- kehittäminen
- viimeistely.

5.1 Tehtävänasettelun selvitys

Suunnitteluprosessi aloitetaan tehtävänasettelun selvennyksellä. Kehitystyön luonne vaikuttaa oleellisesti tehtävänasettelun selvitykseen. Esimerkiksi uudelle

tuotteelle voidaan aluksi tehdä kattava markkinatutkimus, kun taas vanhan tuotteen kehityksessä voidaan suoraan siirtyä selvittämään kohteen alku- ja reunaehdoista. /19/

Alku- ja reunaehdoissa asetetaan tuotteelle tietyt vaatimuksia, toivomuksia sekä rajataan projektin alue. Kerääntyneistä vaatimuksista ja toivomuksista voidaan luoda tuotteen vaatimuslista. Vaatimuslistalla on esitetty kaikki kriteerit ja odotukset, jotka tuotteen pitää täyttää. Lisäksi se toimii eräänlaisena ohjeena koko prosessin ajan. /13, 62–64/

Vaatimuslistalla olevat asiat on esitetty suppeasti ja mahdollisimman tarkasti. Vaatimukset ovat asioita, jotka tuotteen on ehdottomasti täytettävä ja joiden täyttämättä jättäminen aiheuttaa ratkaisun hylkäämisen. Toivomukset sen sijaan on asioita, jotka otetaan huomioon mahdollisuuksien mukaan. Toivomukset ovat yleensä arvoa lisääviä asioita, kuitenkin on syytä tarkastella ylittävätkö valmistuskustannukset toivomuksista saadun hyödyn. /13, 64/

5.2 Luonnostelu

Tehtävänasettelun ja vaatimuslistan ollessa selvillä aloitetaan luonnosteluvaihe. Ennen luonnosteluvaiheeseen siirtymistä on kuitenkin syytä tutkia onko asiasta riittävästi informaatiota, jotta voidaan siirtyä rakenteellisten ratkaisujen ajattelemiseen. Lisäksi on hyvä miettiä voidaanko jo näillä tiedoilla nähdä onko asetettu tavoite saavutettavissa siedettävillä kustannuksilla. Luonnosteluvaiheessa tehtävälle määrätään ratkaisuperiaate, johon päästään oleellisten ongelmien abstrahoinnilla, toimintarakenteiden laatimisella sekä vaikutusrakenteen laadinnalla. /13, 71/

Abstrahoinnilla tarkoitetaan alitajunnassa syntyvien ennakkokäsityksien ja mielikuvien rikkomista. Vaikka kokemuksen hyödyntäminen on suunnittelun tärkeimpiä lähtökohtia, niin samalla se kuitenkin luo ennakkokäsityksiä. Jotta ennakkokäsityksistä päästään eroon, tulee kokemus hajoittaa analyysin avulla alkufunktioihin, jolloin päästään eroon kokemusidonnaisuudesta. Tehtävän jakaminen alkufunktioihin estää toistumaan pyrkivän rakenteen esiin tulemistä. Samalla se kui-

tenkin sisältää kokemuksen tuottaman tiedon toimivuudesta ja luotettavuudesta. /13, 72–74/

Alkufunktioihin jaottelun jälkeen voidaan siirtyä toimintarakenteen laatimiseen, jonka lähtökohtana on vaatimuslista. Toiminnolliset yhteydet kirjoitetaan lausemuotoon ja ne järjestetään loogisuutensa tai tärkeytensä mukaan. Näin voidaan muodostaa riippuvuuksia vaatimusten ja toivomuksien välille. Toimintarakenteen tarkoituksena on luoda selkeä kaavio tärkeiden osatoimintojen välille, josta käy ilmi toimintojen syy-yhteydet. /13, 93–95/

Vaikutusrakenteen laadinta aloitetaan selvittämällä tuotteen vaikutusperiaatteet, jotka yhdistetään vaikutusrakenteeksi. Vaikutusperiaate sisältää tunnusmerkit, jotka ovat toiminnon toteuttamisen kannalta välttämättömiä mm. fysikaaliset ilmiöt, aineelliset ja geometriset tunnusmerkit. Ratkaisuja voidaan hakea tavanomaisten menetelmien kautta, kuten kirjallisuustutkimukset, luonnon järjestelmien analyysit, tunnettujen teknisten systeemien analyysit, analogiatarkastelut sekä mittaukset ja mallikokeet. /13, 99-102/

Tavanomaisten ratkaisukeinojen lisäksi vaikutusperiaatteellisia ratkaisuja voidaan hakea intuitiivisesti painotetuilla menetelmillä, näitä menetelmiä ovat mm. aivo-riihi, metodi 635, gallerametodi, delfi-metodi, synektiikka sekä yhdistetty menetelytapa. Intuitiivisissa menetelmissä pyritään saamaan oivallus, jota pystytään viemään eteenpäin. /13, 103/

Kun vaikutusperiaatteet on saatu, ne voidaan yhdistää vaikutusrakenteeksi kokonaisrakenteen saavuttamiseksi. Intuitiivisillä menetelmillä on tapana luoda jo valmiiksi toimivia kokonaisrakenteita. Vaikutusrakenteen saaminen voi kuitenkin olla hankalaa ilman konkreettisia muotoja. Tämän takia voi olla tarpeen tehdä alustavia peruspiirustuksia, joista selviää kappaleen päämitat ja tekniset pääperiaatteet. Monesti jo pelkillä käsinpiiretyillä luonnoksilla saadaan aikaan hyvin toimivia ratkaisuja. /13, 129/

5.3 Kehittely

Tuotesuunnitteluprosessissa kehittäminen on se osa prosessia, missä tehdään tuotteen kokoonpanorakenne käyttäen hyväksi vaikutusrakennetta ja periaatteellisia ratkaisuja. Kehittämisessä joudutaan ottamaan huomioon myös tekninen ja taloudellinen näkemys. Tässä vaiheessa tuotteelle tehdään mittatarkat piirustukset ja suunnitellaan ostettavat komponentit. /13, 176/

Mittakaavaan piirretty luonnos eli niin sanottu uloslyöntikuva toimii kehittämissä vaiheissa tuotteen ratkaisevimpana osana. Siinä määritellään tuotteen lopulliset ominaisuudet, rakenne, muoto ja monesti myös valmistustapa. Kaikki osat tulee piirtää niin tarkasti kuin mahdollista, jotta uloslyöntikuvasta nähdään rakenteen toimivuus. Tässä vaiheessa on hyvä merkitä jo tärkeitä toleransseja. Uloslyöntikuvan perusteella tehdään monesti jo tuotteen prototyyppi tai 3D-tulostimella tehty pienoismalli tuotteen 3D-mallin pohjalta. /19/

Kehittämissä vaiheeseen kuuluu myös uloslyöntikuvan teknistaloudellinen arvostelu, jossa tuotteen osarakenteista pyritään etsimään heikkouksia, tai jopa korvattavia osia. Arvostelussa otetaan huomioon myös virheiden kontrollointi ja kustannusten kattaminen. Jos tuotteessa ilmenee tarvetta muutoksille, tulee nämä muutokset optimoida ja siirtää uloslyöntikuvaan ja tehdä mahdollisesti uusi teknistaloudellinen arviointi. Muutoksille on myös syytä tehdä lujuuslaskennallista arviointia ja optimointia. /19/

Kokonaisrakenteen ollessa kunnossa ja uloslyöntikuvan ollessa korjattuna, tehdään rakenteelle vielä viimeinen arvostelu. Jos se saa hyväksynnän, voidaan katsoa, että rakenne on valmis rakennettavaksi tällä kokoonpanolla. Tämä vaihe on monesti pelkkä muodollisuus. /19/

5.4 Viimeistely

Viimeistely on tuotekehitysprosessin viimeinen vaihe, jossa täydennetään ja optimoidaan tuotteen kokoonpanorakenteen muotoja, mitoitus, toleransseja, pinnanlaatua sekä työaineiden käyttöä, valmistusmenetelmiä ja kokonaiskustannuksia. Viimeistelyyn kuuluu myös tuotteen asiakirjojen ja piirustusten laadinta valmis-

tusta silmälläpitäen mm. nostolaitteissa on käytävä ilmi, että sille on suoritettu riittävät lujuuslaskelmat. /13, 50, 458/ /19/

Detaljien merkitys korostuu viimeistelyssä, sillä niissä piilee monesti ongelmat. Riittämätön detaljien suunnittelu kostautuu myöhemmissä vaiheissa ja viimeistely onkin monesti se vaihe, kun yksityiskohtia joudutaan miettimään uudestaan. Usein tämä johtaa aikaisempien kohtien uudelleen läpikäyntiin. /13, 50/

Jorma Tuomaalan Systemaattinen suunnittelumetodi VDI 2222 mukaan viimeistelyvaiheessa tuotteen prototyypin tehdessä on hyvä olla mukana mahdollisimman paljon ”epäonnea”. Tällä tavoin se täyttää tehtävänsä parhaiten, sillä vielä tässä vaiheessa tuotteeseen on suhteellisen helppo tehdä tarvittavia korjauksia. Lisäksi epäonnistumiset ovat arvokkaita kokemuksia ja yleensä luonteeltaan sellaisia ope- tuksia, että samat virheet eivät enää myöhemmin toistu. /19/

6 ONGELMIEN KARTOITTAMINEN

Impulssi läpivientikoteloiden kehitystyöhön tuli suunnittelusta. Suunnittelu halusi vapaammat kädet koteloiden sijoittamisen suhteen. Kansipulttien ohittamisella pyritään myös estämään tilanteet, joissa kotelon alakatteen reiät ja kansipulttien reiät kannessa eivät kohta. Kotelo on kiinnitetty muuntajan kanteen samoilla kansipulteilla, joilla muuntajan kansi kiinnitetään säiliöön. Kotelon siirtäminen on ennen ollut mahdollista vain kansipulttien reikien käyttämällä 160 mm portaalla. Tämä on aiheuttanut ongelmia jo muutenkin ahtaalla muuntajan kannella.

Tässä vaiheessa kehitystyöhön otettiin mukaan myös muita ideoita. Näiden kehityskohteiden käyttöönottoaminen on ollut tähän mennessä rakennesuunnittelijoiden muistin varassa. Kattavaa ongelmien kartoitusta varten työssä haastateltiin kaikkia koteloihin liittyviä osapuolia.

Suunnittelijoiden kanssa pidettiin palaveri jo tehtävänannon kohdalla, jolloin kävi ilmi kansipulttien ohittamisen tarpeellisuus. Seuraavaksi haastateltiin muuntajan loppukokoonpanon työntekijöitä. Haastattelussa tuli ilmi osien yhteensopivuusongelmia, nostojen haasteellisuus sekä toivomus siirtää koko koteloiden kalustus ja johdotus alihankkijalle.

Aftersales vastaa toimituksen jälkeisistä huolto- ja täydennystöistä takuuajan sisällä ja sen ulkopuolella. Heidän kohtaamansa ongelmat koteloiden kanssa ovat nostoihin ja suurten koteloiden päätylevyjen ja kotelon kansien notkahtamiseen liittyviä. Kansien takaisin laitto on myös muodostunut ongelmaksi, koska seinät ovat notkahtaneet hiukan sisäänpäin.

Kotelon alihankkijan kanssa pidettiin tuotteen valmistettavuutta koskeva kokous. Sen aiheena olivat edellisessä kokouksessa ilmenneet ongelmat ja toimenpiteet, joihin haettiin nyt ratkaisua. Suurin osa ongelmista oli kokoonpanoa ja valmistusta hankaloittavia asioita. Kokouksessa tuli myös ilmi, että alihankkijalla on mahdollisuus valmistaa koteloihin jäykistemuotoja.

7 KEHITETTÄVÄT KOHTEET

Tehtävänannon jälkeen kävi selväksi, että kehitystyö on hyvä jakaa kahteen osaan. Työn ensimmäisessä osassa suunnitellaan pienitöisemmät ja vähemmän aikaa vievät kohteet. Pienitöisemmät kohteet olivat kotelon Layout-rakenteeseen muutettavia, heti käyttöön otettavia kohteita. Työn toisessa osassa taas keskitytään suurempiin ongelmiin, jotka vaatisivat useita luonnostelu- ja kehityskierroksia.

Kaiken kaikkiaan ideoita oli lähemmäs 20, mutta hyvin pian kävi selväksi, ettei kaikkia niistä ole järkeä toteuttaa. Kohteiden joukosta karsittiin pois vähemmän hyödyllisiä ideoita. Näiden ideoiden kustannukset olisivat olleet niistä syntyvää hyötyä suuremmat. Lopulta muokattavia kohteita oli 14, joista kolmen huomattiin olevan suurempitöisiä ja vaativan tarkempaa tutkimusta. Näistä 14:sta kohteesta muutama hylättiin myöhemmin, kun huomattiin, ettei muutokselle ole todellisia perusteita tai ne aiheuttavat ongelman rakenteessa.

Muutoksista tehtiin vaatimuslista (**Taulukko 1.**), jossa vaatimuksiksi on luokiteltu asiat, joihin toivotaan tutkimusta tai jotka ovat valmistuksen ja kotelon toiminnan kannalta tärkeitä. Toiveiksi on luokiteltu asiat, jotka helpottavat mm. kokoonpanoa tai ovat arvoltaan toisarvoisia ns. arvoa lisääviä asioita. Tämän opinnäytetyön aikana ei kaikkia vaatimuslistassa esitettyjä asioita ehditty tutkia tai toteuttaa.

Taulukko 2. Kotelon rakenteen muutoskohteiden vaatimuslista.

Vaatimuslista: Kotelointi				
Muutos	V/T	Vaatimukset	Vastaava	Lähde
12.2.2013	V	Kotelo ylittää pultit n.100mm korkeudelta	PNi	Suunnittelu
	V	Nostokorvat lisätään päätylevyyn ja seiiniin lisätään uudet		Lähetäjä, Alihankkija
	V	Seiniin ja päätyihin uudet jäykisteet		Suunnittelu
	T	Rakenteesta tiiviimpi. Kumitiiviste korkkitiivisteiden tilalle		
	V	Pokkausosan pidentäminen 18mm ja vastakkaisissa osissa 24mm		Alihankkija
	T	Puristimen reiät soikeiksi		Lähetäjä
	T	Alakatteen reiät suuremmiksi + 3mm		
	T	Tukieristeen kannattimen vääntymisen korjaus		
	T	Eristelevyjen reikien paikoitus		Alihankkija
	T	Lämmitysvastukselle kaapeliholkki		Suunnittelu
	T	Läpivientilevyn lovien poistaminen		Alihankkija
	V	Läpivientilevyn reikien suurentaminen + 2mm		
	T	Kotelon kannen kiinnityksen uusiminen		After-Sales
25.2.2013	V	Kotelon tukeminen	PNi	Suunnittelu

7.1 Nopeasti muokattavat kohteet

Ensimmäinen muokkaus koteloiden Layout-rakenteeseen oli koteloiden seinämien taivutuksissa olevan laippakorkeuden kasvattaminen. Taivutukset ovat paitsi seinälevyjen jäykistämistä varten, myös kotelon päätyosan kiinnittämistä varten. Laippakorkeus oli ennen muokkausta 12 mm, kun 3 mm paksulle levyille suositellaan 17 mm laippakorkeutta. Riittämätön laippakorkeus oli aiheuttanut alihankkijalla konerikkoja, joten rakenteen muutokselle oli perustellut syyt. Laippakorkeus päätettiin kasvattaa 18 millimetriin. Samalla rakenteeseen muokattiin myös seinälevyn vastakappaleen laippakorkeus 24 mm, jotta seinälevyjen laipat saataisiin samalle tasolle.

Seuraava muutos koski koteloiden päätykappaleen läpivientilevyn reikien koon kasvattamista. Alihankkijan mukaan reiät ovat liian pieniä ja siten levy on hankala asentaa päätykappaleeseen. Reikiä oli jouduttu suurentamaan käsin, mikä aiheut-

taa ylimääräistä työtä sekä hidastaa läpimenoaikaa. Tämän takia reiät päätettiin suurentaa jo Layout-malliin. Tällöin reiät ovat oikean kokoisia jo suunnitteluvaiheesta lähtien. Reikiä päätettiin suurentaa myös vaiheiden väliin tuleviin eristelevyihin, joissa oli myös ollut ongelmia liian pienten kiinnitysreikien kanssa.

Alihankkija olisi halunnut myös poistattaa läpivientilevyissä olevat lovet, joiden luultiin olevan taivutuksen helpotusta varten. Lovet ovat kuitenkin hitsausaamua varten, joka hiotaan tasaiseksi. Näin tiivisteiden ja läpivientilevyn väliin ei jää pyöristystä. Koska muutos olisi aiheuttanut tiiveysongelman, päätettiin tämä idea hylätä.

Muuntajan loppukokoonpanosta saatujen tietojen mukaan kotelon alakatteessa olevia reikiä voitaisiin suurentaa niin, että kansipulttien kanssa käytetyt aluslaatat menisivät rei'istä läpi. Nyt loppukokoonpano on joutunut irroittamaan kansipultit ja vaihtamaan aluslaatat pienempiin, jotta ne sopisivat kotelon alakatteen reikiin. Reiät suurennettiin koteloinnin Layout-rakenteeseen.

Kotelon alakate puristetaan kanteen kannenpulttien kohdalta teräksisellä puristinlevyllä. Loppukokoonpanon mukaan puristinlevyä joudutaan usein asentamaan kohtuutonta voimaa käyttäen, pakottamalla se paikoilleen vasaran avulla. Reikien koolla ei ole puristinlevyn toiminnan kannalta merkitystä, joten nopean ja vaivattoman asennuksen takia rei'istä tehtiin suuremmat ja soikean muotoiset.

Molemmilta alihankkijalta ja loppukokoonpanosta saatiin selkeä viesti lisätä nostokorvien määrää sekä muuttaa niiden paikkoja. Esimerkiksi seinälevyjen nostokorvat ovat sijainneet siten, että nostettaessa koteloa ovat nostovälineet vahingoittaneet kotelon kantta. Huonon sijainnin lisäksi nostokorvat ovat olleet myös liian pieniä. Koteloinnin jokaiseen suurempaan kokoonpanoon päätettiin lisätä neljä nostokorvaa vakaata nostoa varten. Myös päätyluokkuun lisättiin omat nostokorvat.

7.2 Paljon aikaa vievät kohteet

Läpivienneiltä tulevat johtimien kiskot ovat kiinni tukieristeissä. Tukieristeet ovat pulteilla kiinni koteloinnin katossa olevassa tukieristemien kannattimessa. Kanna-

tin on hitsattu kiinni kotelon kattolevyyn. Hitsaus aiheuttaa sekä kattolevyssä että kannattimessa vääntymistä, mikä vaikeuttaa tukieristimien kiinnitystä. Tällä tavoin kannattimen toivottiin toimivan samalla jäykisteenä kattolevyille. Edellisessä versiossa tukieristimien kannatin oli kiinnitettynä ruuvein kattolevyssä oleviin kiinnitysnutikoihin. Suunnittelussa päätettiin palata tukieristimen kannattimen kiinnittämisessä vanhaan mallin, sillä se ei väännä kannatinta samalla tavoin kuin hitsatussa versiossa. Muutoksen tekeminen ei kuitenkaan ollut ihan niin yksinkertaista, sillä Layoutissa vanhat relaatiot oli korvattu kokonaan uusilla. Koska vanha relaatiopohjaa ei enää ole, joudutaan muutokset rakentamaan Layout-rakenteeseen kokonaan uudestaan.

Suunnittelusta saatiin tehtäväksi muokata koteloinnin rakenne siten, että koteloa ei enää kiinnitetä samoihin pultteihin, millä muuntajan kansi on ollut kiinni säiliössä. Tällä järjestelyllä päästäisiin eroon kotelon hankalasta sijoittamisesta muuntajan kannelle. Tämä poistaisi myös kaikki ongelmat alakatteen ja puristinlevyn kanssa. Tämän tehtävänannon ympärille rakentui myös muita ratkaistavia ongelmia, kuten koteloinnin tukeminen pulttilinjan ylittämisen jälkeen. Nämä molemmat uudistukset haluttiin saada kotelon Layout-rakenteeseen. Muutoksien tiedettiin kuitenkin olevan niin suuritöisiä, että ajan puutteen vuoksi Layout-rakenne päätettiin muokata opinnäytetyön ulkopuolella.

Alihankkijalta ilmoitti pystyvänsä tekemään ohutlevyihin erilaisia jäykistemuotoja. Tämän tiedon perusteella suunnittelu halusi tutkittavan voidaanko kotelon seinälevyt, kannet ja päätyluukut jäykistää erilaisilla muodoilla. Alihankkija kertoi tämän myös helpottavan heidän toimintaansa, sillä ennen jäykisteiden teko on toteutettu särmäämällä levyyn kulmia pitkittäin. Tällöin suuria ja painavia levyjä on jouduttu särmäysten välissä kääntämään käsin, mikä on hyvin työlästä, aikaa vievää ja suurilla levyillä vaarallista. Uudella tavalla tehtäessä levy voitaisiin jäykistää ilman jatkuvaa kääntelyä.

8 LUONNOSTELU JA TUTKIMINEN

Luonnosteluvaihe haluttiin aloittaa puhtaalta pöydältä ilman ennakkokäsityksiä, joten valmiita ideoita tai kehityssuuntia ei vielä annettu. Antamalla pelkkä aihe karkein rajoin, pystyttiin estämään paluu vanhoihin ideoihin ja asiaan saatiin ulkopuolinen näkemys tuoreilla ideoilla. Vasta luonnoksia esitettäessä aiheeseen tuotiin kokemusperäistä näkemystä.

Tehtävässä suoritettiin useita luonnoskierroksia. Suurin osa luonnoksista oli karkeita paperille piirrettyjä hahmotelmia. Paperille piirtämisen etu on siinä, ettei se sido ajattelumallia liian tiukasti. Parhaimmat luonnokset tehtiin uudestaan 3D-malleina Pro/ENGINEER-suunnitteluohjelmalla. Tämän jälkeen ideoille tehtiin kokemusperäistä arviontia mm. kustannuksista, kestävyydestä, valmistettavuudesta ja toimivuudesta.

Tutkimusvaihe keskittyi lähinnä koteloiden rakenteen jäykistämiseen, jäykistemuotoja hyväksikäyttäen. Luonnosten jälkeen jäykistemuodoista käytiin paljon keskustelua voitaisiinko 3 mm vahvuinen teräslevy korvata 2 mm tai jopa 1,5 mm paksuisella levyllä. Tämä vaikuttaa kotelon materiaalikustannuksiin sekä koteloinnin massaan.

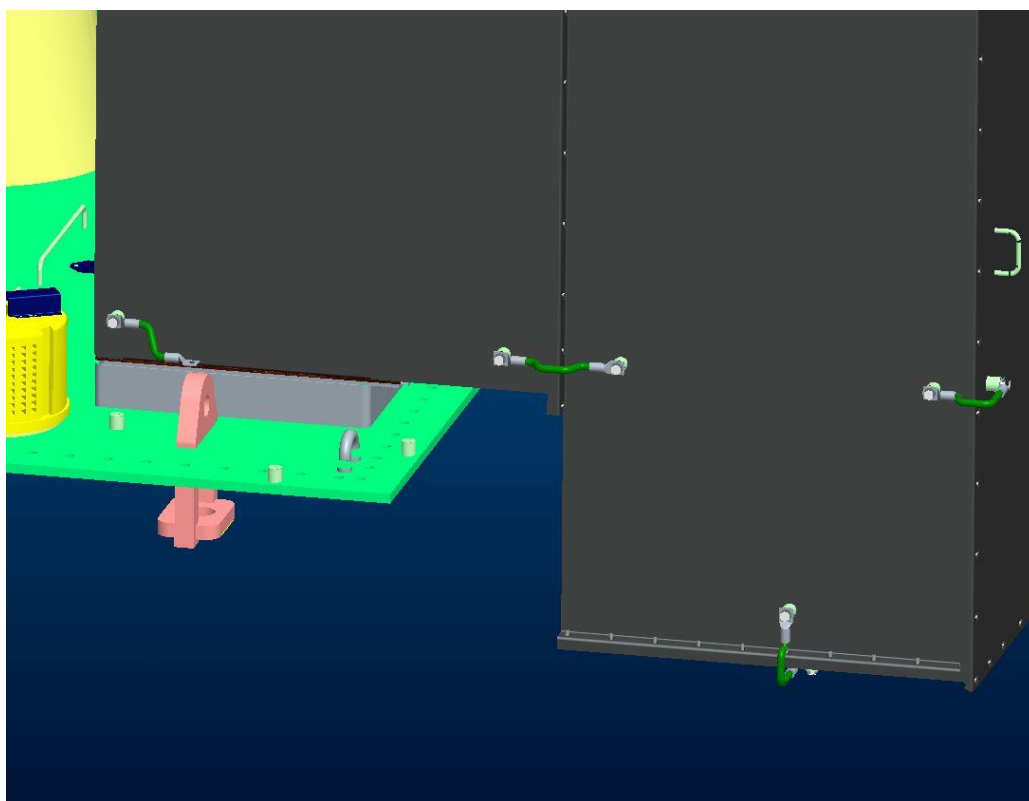
8.1 Kotelo ohittaa kansipultit

Uudelle koteloinnin kiinnitystavalle asetettiin rajoitukseksi tehtävän alkuvaiheessa vain se, että kotelon pitää ylittää muuntajan kannen kiinnityspultit vähintään 60 mm korkeudelta. Tehtävänanto ei sinänsä ollut kovin haastava, mutta työssä jouduttiin kuitenkin ottamaan huomioon kotelon rakenteen sovellettavuus. Rakenteen muutos pitää olla helposti muokattavissa erilaisia vaatimuksia varten, joten mitään monimutkaista ei kannattanut lähteä suunnittelemaan.

Kotelon uusia muotoja ja rakennetta hahmoteltiin paperille piirtämällä. Pian syntyi ajatus, että pulttilinjan ylittäminen olisi helpointa toteuttaa muuntajan kanteen hitsatulla kauluksella (**Kuva 8.**). Näin itse koteloon ei tarvitsisi tehdä muita muutoksia kuin laskea sen korkeutta kauluksen verran. Luonnostelua kuitenkin jatkettiin, kunnes hitsattavalle kaulukselle saatiin toinen hyvä vaihtoehto. Toinen vaih-

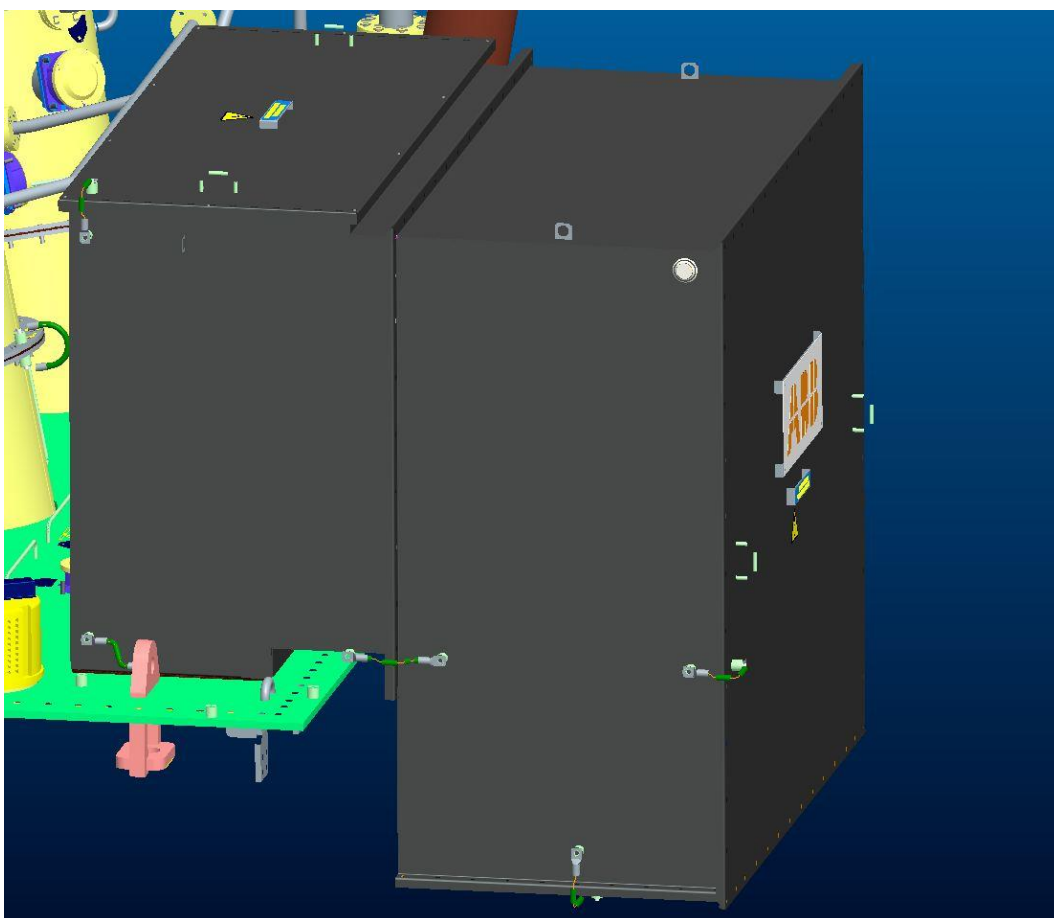
toehto pulttilinjan ylitykselle saatiin, kun koteloinnin alakatetta muokattiin teke-mällä siihen kaksi uutta taivutusta ja vastaavasti seinälevyistä otettiin pieni pala pois (**Kuva 9**). Tämä muutos nostaa alakatetta 60 mm ylöspäin.

Muuntajan kannelle hitsattava kaulus on yksinkertaista suunnitella Layout-rakenteeseen, koska itse kotelon rakenne ei muutu. Kaulus myös tiivistää kote-loinnin rakennetta, sillä se nostaa tiivistepinnan ylös kannen tasosta, jolloin vesi ei pääse koteloon. Kaulus voidaan rakentaa kolmesta pääosasta, 60 mm korkeasta kauluksesta, joka koostuu kahdesta taivutetusta 6 – 8 mm teräslevystä sekä 8 mm paksusta laipasta. Kauluskokoonpano voidaan hitsata muuntajan kanteen pienahit-sillä. Kotelo puolestaan kiinnitetään kauluksen laippaan käyttämällä laipassa hit-sattavia ruuveja. Kauluksen käyttäminen lisää kuitenkin hitsaustyötä. Samalla ko-teloiden välinen etäisyys tulee olla vähintään 150 – 200 mm, jotta hitsaajalla on tilaa hitsata kaulukset muuntajan kanteen tiiviisti.



Kuva 8. Kotelon kiinnityksessä käytettävä hitsattu kaulus

Taivutettu alakate on hitsatulle kaulukselle yksinkertainen vaihtoehto. Siinä säästään ylimääräiseltä hitsaamiselta, eikä koteloiden välinen etäisyys tarvitse olla kuin kymmeniä millijä. Kotelon kiinnityksessä muuntajan kanteen voidaan käyttää kanteen hitsattavia ruuveja, joihin asennetaan terästassut painamaan kotelo muuntajan kantta vasten. Näin kotelon asentamiseen saadaan lisää pelivaraa ja vältetään tilanteilta, missä joudutaan suurentamaan kiinnitysreikiä tai muuttamaan kiinnitysruuviin paikkaa.

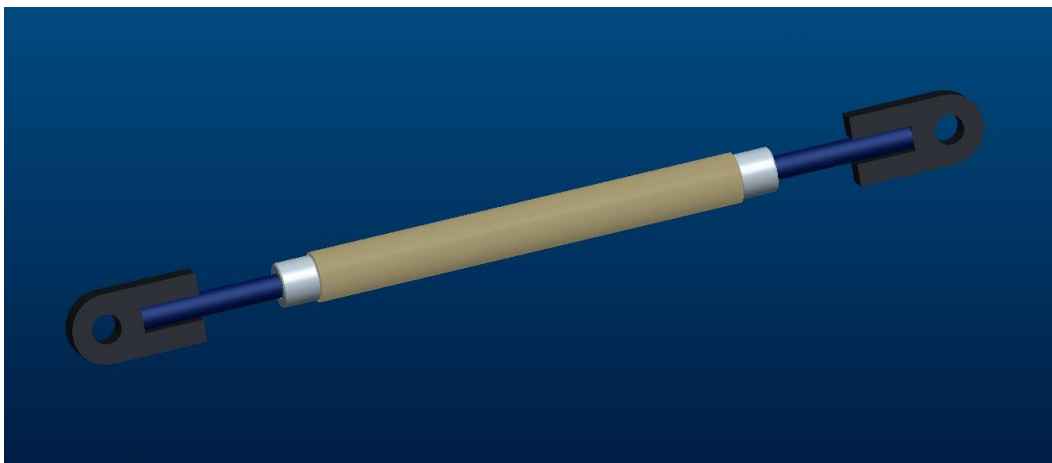


Kuva 9. Muuntajan kannen pulttilinjan ylittäminen käyttämällä taivutettua alakatetta.

Uudenmallinen alakate aiheuttaa kuitenkin ongelmia kotelon kiinnityksen kestävydessä, sillä suurin osa kotelon painosta roikkuu muuntajan kannen ulkopuolel-

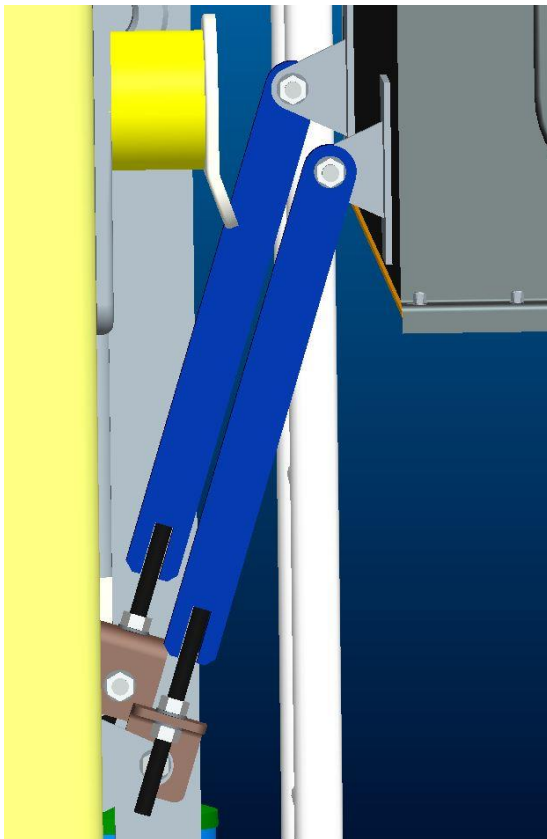
la. Kotelolle etsittiin vakioitu tapa tukea se muuntajan säiliöön. Koteloita on tuettu ennenkin, mutta tuet ovat aina olleet projektikohtaisia, eikä niitä ole standardisoitu. Nyt päätettiin kehittää yhtenäinen tuentatapa, mikä olisi sovellettavissa erilaisiin koteloihin.

Koska kotelot ovat asiakkaan toiveista johtuen erilaisia, täytyy käytettävän tuen olla myös säädettävissä, mikäli samantyyppistä tukea haluttaisiin käyttää erilaisissa koteloissa. Luonnostelu lähti liikkeelle miettimällä sopivaa tapaa säätää tukia. Tässä päädyttiin kahteen ratkaisumalliin. Ensimmäinen malli koostui putkesta, jonka molempiin päihin oli hitsattuna kierteelliset kiinnitysnutikat, joista toinen oli vastakierteellä (**Kuva 10.**). Nutikoihin pystytään kiinnittämään kierretangot, joiden päihin on hitsattu kiinnityskorvat. Tuen pituus säätyy putkesta kääntämällä.



Kuva 10. Tuen ensimmäinen malli.

Pian kävi ilmi, että tuessa on liikaa osia, jotta siitä kannattaisi tehdä standardiosa. Niinpä tuen rakennetta yksinkertaistettiin käyttämällä vain yhtä kierretankoa, joka hitsataan kiinni levyyn, jonka toisessa päässä on reikä kiinnitystä varten (**Kuva 11.**). Kierretankoon kiinnitetään muttereilla levy, joka on taivutettu 90 asteen kulmaan. Levyn toinen pää voidaan kiinnittää muuntajan säiliössä olevaan kiinnityskorvaan. Tuen pituus ja kiinnityskulma on nyt täysin säädettävissä.



Kuva 11. Tuentatapa yhdellä kierretangolla.

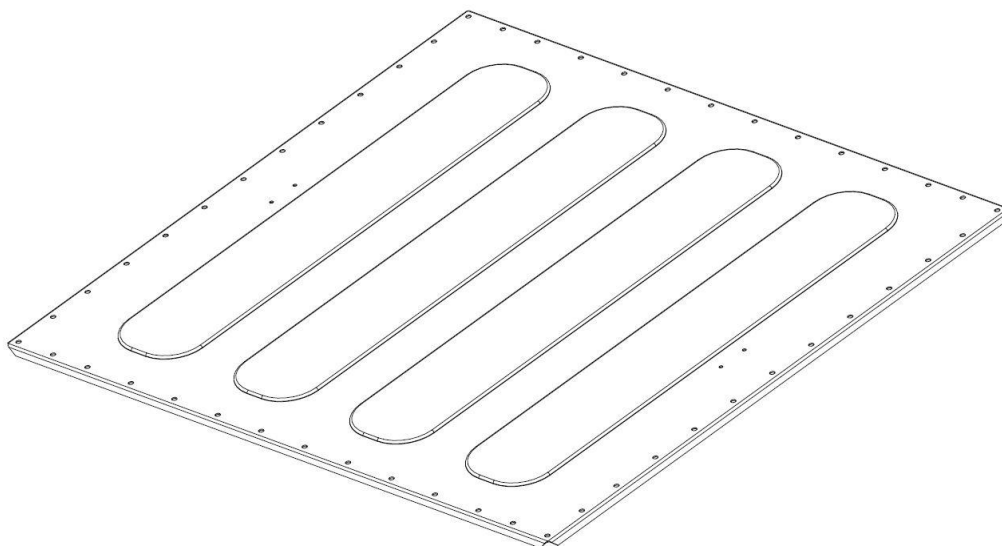
Luonnosten valmistuttua päätettiin pultilinjan ylittämisen suhteen ottaa käyttöön tapa, missä alakate on taivutettu uudella tavalla. Päätökseen vaikutti halu vähentää ylimääräistä hitsaamista muuntajan rakenteessa sekä mahdollisuus kiinnittää kotelon terästassuilla, jolloin kotelon asennukseen saadaan enemmän pelivaraa. Tuentatavoista päätettiin kehittää kuvan 11 mukaista yhdellä kierretangolla olevaa tukea.

8.2 Kotelon seinämien jäykistäminen

Uusi koteloiden seinälevyjen jäykistämistapa oli jo tiedossa ennen varsinaisen tutkimuksen aloittamista. Tarkoituksena oli tutkia uutta jäykistettä, jolla voitaisiin korvata vanha työläs jäykistystapa. Jäykistemuodon kehitys tehtiin yhteistyönä alihankkijan kanssa. Tämän tarkoituksena oli helpottaa heidän työtään ja samalla pyrkiä pitämään koteloiden jäykistämisen kustannukset alhaisina. Alihankkijan mukaan mikäli jäykisteiden käyttämisellä saavutetaan muun työn vähentämistä, niin

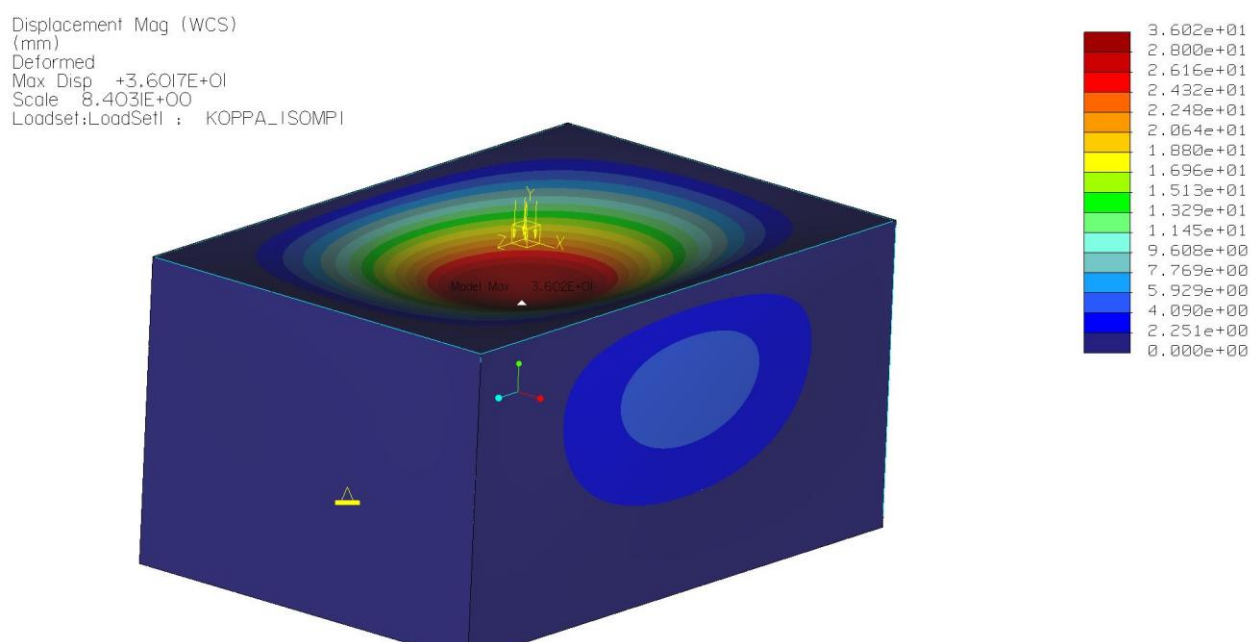
koteloiden kustannukset eivät nouse. Osaltaan kustannuksien katsottiin vähentyvän jo kotelon Layoutiin muokattujen asioiden jälkeen. Koteloiden jäykistämisen toinen tarkoitus oli tutkia mahdollisuutta käyttää ohuempia materiaaleja. Jäykistemuodon ehdot tulivat alihankkijalta, sillä muodon tekemisessä haluttiin käyttää heidän nykyistä työkalukantaansa.

Jäykistemuotona käytettäisiin pitkittäisiä painanteita, jotka ulottuvat lähes levyn päähän asti (**Kuva 12.**). Pitkittäisiä jäykistemuotoja käyttämällä pyritään parantamaan levyjen lommahduskestävyyttä. Painanteiden nurkkapyöristyksen säteen minimiehtona oli 100 mm, joten painanteiden leveydeksi päätettiin 250 mm. Painanteiden syvyydeksi alihankkija mainitsi 2 – 3 mm paksulla levyllä noin 10 mm.



Kuva 12. Päätyluukun levy jäykistemuodoilla.

Jäykistemuotoa verrattiin suoraan levyyn Pro/ENGINEERin Mechanical-elementtimenetelmä sovellusta käyttäen. Sovellusta varten mallinnettiin laatikko, jonka pituus oli 3000 mm, leveys 2000 mm ja seinämien vahvuus 3 mm (**Kuva 13.**). Laatikoon asetettiin rajoitteet siten, että seinämät ovat täysin jäykästi kiinni alareunoista. Tarkasteltavana pintana oli laatikon kansi, jonka keskelle asetettiin 200 mm leveä ja pitkä neliömäinen alue, johon kohdistui 500 N voima. Tuloksista huomattiin, että kansilevyn siirtymät olivat 36 mm.



Kuva 13. Elementtimenetelmä malli 3 mm teräslevystä tehdystä laatikosta.

Tulosta verrattiin toiseen malliin, joka oli muuten samankokoinen, mutta sen materiaalivahvuus oli kaikissa seinämissä 2 mm. Malliin oli myös tehty 250 mm leveät, 10 mm syvät jäykistemuodot (**Kuva 14.**). Voima, rajoitteet ja laatikon ulkomitat olivat samat. Tuloksista huomattiin, että tässä tapauksessa kansi painui alaspäin noin 24 mm. Tuloksista voitiin selkeästi päätellä, että 2 mm vahvuinen levy jäykistemuodoilla on jäykempi kuin nyt käytettävissä oleva 3 mm vahvuinen suora levy.

Displacement Mag (WCS)

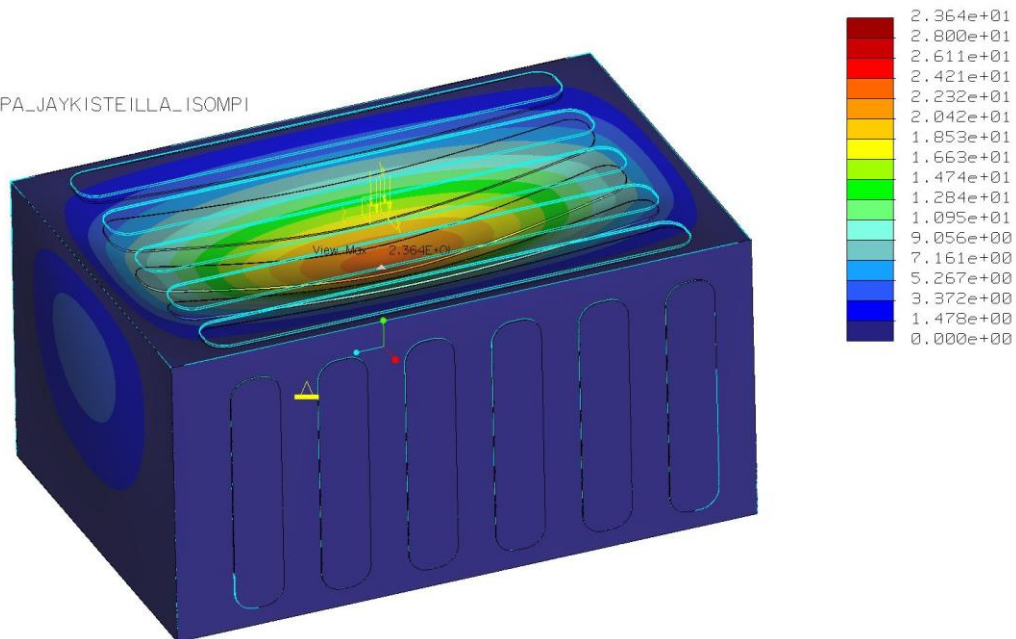
(mm)

Deformed

Max Disp +2.3645E+01

Scale 1.3174E+01

Loadset:LoadSet1 : KOPPA_JAYKISTEILLA_ISOMPI



Kuva 14. Elementtimenetelmämalli 2 mm jäykisteellisestä teräslevystä tehdystä laatikosta.

9 KOHTEIDEN MUOKKAAMINEN KOTELOINNIN RAKENTEeseen

Läpivientikoteloiden Layout-rakenteen muutoksien muokkaaminen aloitettiin seinälevyjen taivutuksien laippakorkeuden muokkaamisella. Muutosta varten täytyi jokaisesta seinälevystä ja kansilevystä selvittää taivutuksessa käytetty piirre. Muokkaamalla piirteen tietoja, laipan korkeus voitiin muuttaa yksitellen jokaiseen kappaleeseen. Tämän jälkeen Layout-mallia testattiin eri arvoilla samalla tarkastellen, että laipan mitat pysyvät samana.

Alakatteen reiät ovat relaatioiden ohjaamia. Reikien muokkaamista varten täytyi ensin selvittää relaatioista reikien ohjautuvuus. Reikien halkaisijaa ohjaa halkaisijan mitta nimeltä D174. Relaatioista kävi ilmi, että halkaisija on sidottu lauseeseen $D174 = \text{BOTTOM_PLATE_HOLE1}$. Parametri $\text{BOTTOM_PLATE_HOLE1}$ on puolestaan kirjoitettu koteloinnin Layout-käyttöliittymän relaatioihin määräytymään muuntajan kannen paksuuden mukaan. Esimerkiksi jos muuntajan kannen paksuudelle annetaan arvo 16 – 24 mm väliltä saisi alakatteen reiän parametri $\text{BOTTOM_PLATE_HOLE1}$ arvon 40, joka toimisi myös alakatteen reiän halkaisijana. Jotta muuntajien kannelle asennettava aluslaatta saataisiin alakatteen reiän läpi, lisättiin parametrin $\text{BOTTOM_PLATE_HOLE1}$ arvoon 3 – 5 mm riippuen muuntajan kannen paksuudesta.

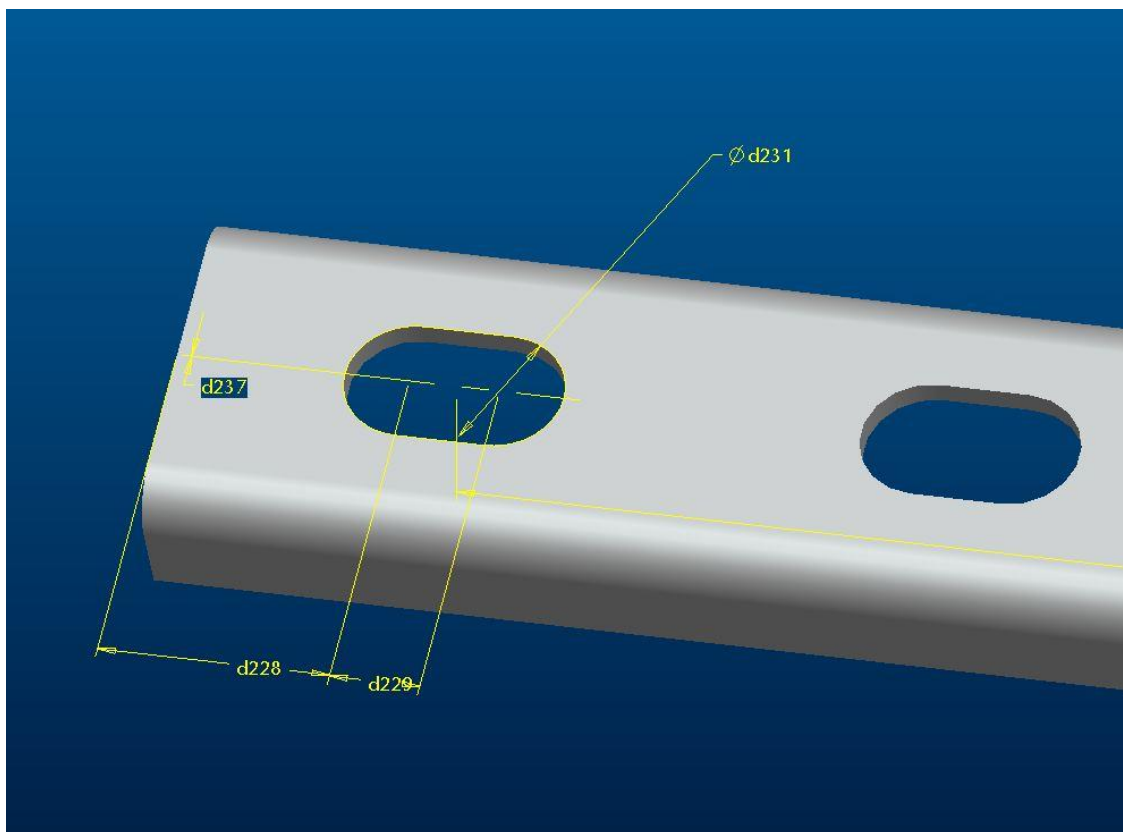
Myös läpivientilevyn reikien koko oli relaatio-ohjattu. Tosin sen rei'ille oli annettu arvot suoraan läpivientilevyn relaatioihin. Muokattavina reikinä oli päätylevyä vasten olevan laipan reiät. Reiän mitalle oli annettu nimeksi D157, jonka arvo puolestaan oli määritelty $D157 = 10$. Muiden reikien arvoksi puolestaan oli määritelty 13 mm. Asennusvaran saamiseksi määriteltiin mitan D157 uudeksi arvoksi $D157 = 13$.

Puristelevyn alkuperäisissä relaatioissa reiän halkaisijan muutos oli määrätty muuntajan kannen paksuuden mukaan. Reiälle tehtiin uusi leikkaus, joka on soikeanmallinen. Aluksi soikean leikkauksen luonnoksessa käytettiin hyväksi vanhaa reikää referenssinä, mutta tämä aiheutti myöhemmin ongelmia. Niinpä uusi leikkaus rakennettiin kokonaan uudestaan ottaen mallia vanhan reiän relaatioista. En-

simmäisenä puristelevyyn tehtiin soikea leikkaus, joka kopioitiin Pattern-piirrettä hyväksi käyttäen. Patternissa leikkauksen monistusta varten annettiin suunta, etäisyys ja lukumäärä. Pro/ENGINEER antaa jokaiselle mitalle automaattisesti jonkun nimen. Nyt uusien mittojen nimet pystyttiin katsomaan ja rakentamaan niistä uudet relaatiot.

Ensimmäisenä relaatioihin määriteltiin leikkausten lukumäärä $P226 = \text{CEIL}(\text{BOX_WIDTH} / \text{COVER_HOLE_DISTANCE}) - 1$, jossa P226 on leikkauksien lukumäärä, BOX_WIDTH on kotelon leveys ja COVER_HOLE_DISTANCE on muuntajan kannen reikien välinen etäisyys. CEIL on toiminto, jolla voidaan pyöristää lukuarvoja ylöspäin seuraavaan kokonaislukuun. Kotelon leveys ja kannen reikien välinen etäisyys on määritelty kotelo-Layoutin käyttöliittymään. Leikkausten lukumäärän määrittämisen jälkeen määriteltiin leikkauksien halkaisija. Halkaisijan määrittelemiseksi kopioitiin vanhojen reikien halkaisijoiden relaatiot. Tämän jälkeen vanhan reiän halkaisijan mitan nimen paikalle vaihdettiin leikkauksen halkaisijan nimi. Leikkaus koostui kahdesta ympyrästä, jotka yhdistettiin toisiinsa ympyröitä tangeeraavilla suorilla. Ympyröidenvälinen etäisyys määriteltiin muuntajan kannen paksuuden mukaan. Esimerkiksi 20 mm paksulla kannella ympyröiden etäisyys on määritelty $D229 = 16$, jossa D229 on ympyröiden välinen etäisyys.

Leikkauksien määrän ja koon määrittelyn jälkeen määriteltiin leikkauksien paikka. Paikka määriteltiin muuntajan kannen reikien etäisyyden mukaan. Esimerkiksi 80 mm etäisyydellä määräytyy leikkauksien paikka lauseen $D228 = 43 - D229/2$, jossa D228 on etäisyys puristelevyn päästä leikkauksen ensimmäisen ympyrän keskipisteeseen. Luku 43 on puolestaan etäisyys puristelevyn päästä vanhojen reikien keskelle. Kun tästä poistetaan leikkauksessa käytettyjen ympyröiden keskinäinen matka jaettuna kahdella, saadaan leikkauksen ensimmäisen ympyrän etäisyys puristinlevyn päädyistä (**Kuva 15.**).



Kuva 15. Muokatun puristelevyn mittojen nimet.

Viimeinen muutos koski koteloiden nostoja. Koteloiden nostokorvat eivät olleet relaatio-ohjattuja, vaan ne oli asetettu koteloon kotelon Layout-kokoonpanossa. Nostoja varten koteloon mallinnettiin uudet nostokorvat, jotka eivät vahingoittaisi koteloa kun sitä nostetaan. Samalla nostokorvista tehtiin standardiosat, näin projektikohtaisten osien määrä vähenee, eikä nostokorvista tarvitse aina tehdä uusia piirustuksia jokaisen uuden projektin yhteydessä.

Pulttilinjan ohitusta varten tehdyssä alakatteen muutoksessa tulee relaatioiden ja mittojen määrittämisessä miettiä kotelon koon muutoksen vaikutusta alakatteen ja kiinnityspaikkaan. Esimerkiksi alakatteen taivutuskohtien on muututtava muiden kotelon osien mukaan. Myös koteloon tulevat tuet on saatava ohjautumaan relaatioilla. Niiden kulma ja kiinnityskohta on riippuvainen muuntajan säiliöön tulevista kiinnityskorvista. Toisaalta myös säiliöön tulevat kiinnityskorvat tulee asettaa läpivientikotelon relaatioihin.

10 TULOKSET

Tämän opinnäytetyön puitteissa läpivientikoteloiden epäkohdista kerättiin kattava lista useista eri lähteistä. Epäkohdista tehtiin arviointeja ja mietittiin ovatko ne todellisia ongelmia joihin kannattaa käyttää resursseja. Ne epäkohdat, jotka aiheuttivat ongelmia läpivientikoteloiden suunnittelussa, valmistuksessa tai kokoamisessa, päätettiin korjata koteloinnin Layout-rakenteeseen (**Taulukko 2.**). Läpivientikoteloinnin Layout-rakenteen muokkaamisen ansiosta kotelon muutokset ovat kaikkien kotelon mallia käyttävien saatavissa.

Layout-muutoksilla saavutetaan mallien yhtenäistämistä ja taloudellista hyötyä, sillä nyt valmistuksessa ja kokoonpanossa säästytään turhilta työvaiheilta, joita korjaamaton Layout oli aiheuttanut. Osa korjatuista asioista ovat olleet alihankkijan ja kokoonpanon harmina pitkän ajan, mutta muutoksien tekoon ei ole ollut resursseja. Nyt tehdyillä muutoksilla vältetään aikaa vieviltä muokkauksilta kesken kokoonpanon.

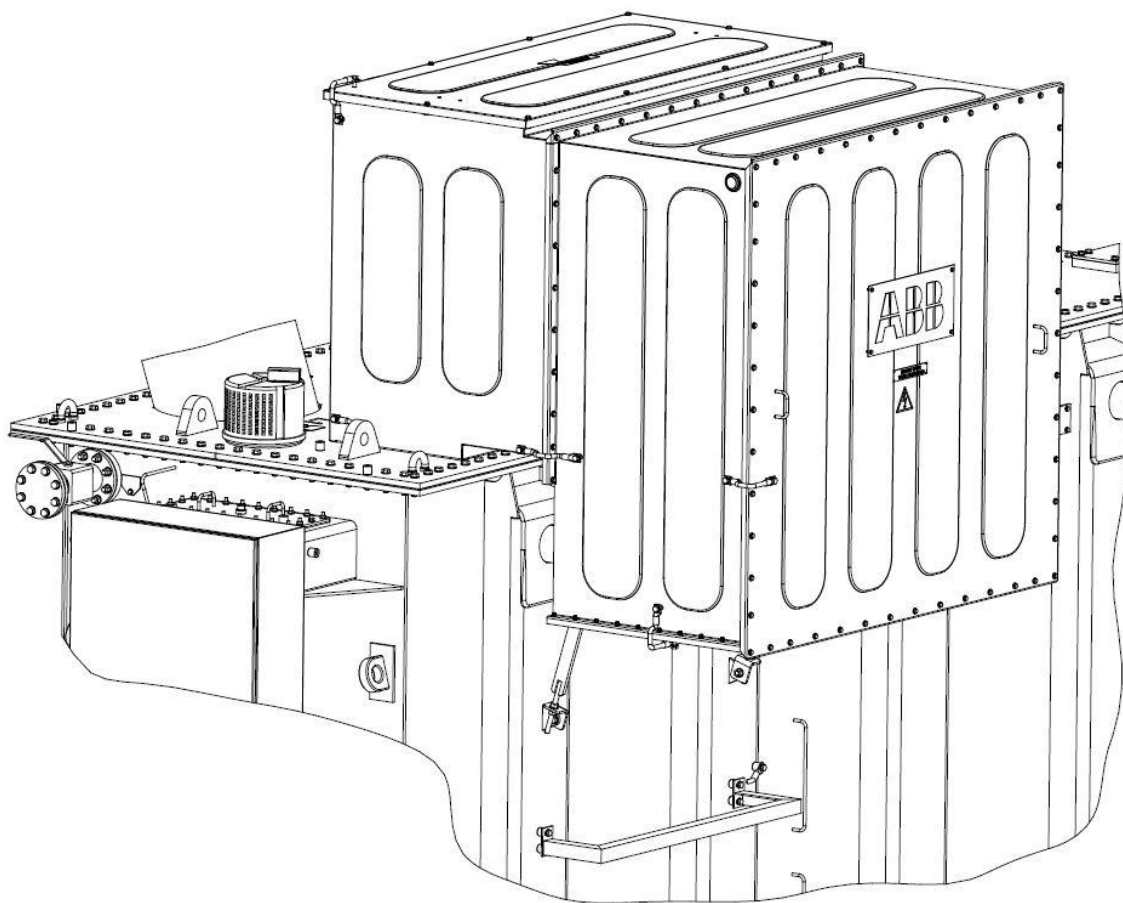
Suunnittelusta saadusta tehtävästä, jossa läpivientikotelon tulee ylittää muuntajan kannen pulttilinja, saatiin hyvät luonnosvaihtoehdot (**Kuva 16.**). Alakatteen muokkausta vaativa vaihtoehto valittiin pohjaksi tuleville läpivientikoteloiden Layout-malleille. Luonnoksen perusteella tehtävän Layout-rakenteen muutoksen toivotaan lyhentävän suunnittelun läpimenoaikaa, kun kotelon sijoittaminen muuntajan kannelle ei ole enää niin tarkkaa. Yhteensopivuusongelmat ovat lisänneet loppukokoonpanossa käytettävää aikaa sekä kasvattaneet myöhästymisriskiä. Lähetyksen myöhästymisistä voi aiheutua myöhästymissakkoja, jotka ovat aina pois muuntajan myyntihinnasta. Pulttilinjan ylittämällä koteloinnin asentaminen muuntajan kannelle helpottuu sekä se poistaa tilanteita, joissa kotelon ja kannen väliset kiinnitysosat eivät sovi paikoilleen. Läpivientikoteloiden päätykappaleen tukemista varten saatiin luonnosteltua säädettävä tuki, joka vahvistaa muuntajan kannen ulkopuolella olevaa kotelon rakennetta.

Läpivientikoteloiden jäykistämistä varten tutkittiin jäykistemuotoja sekä niiden vaikutusta koteloiden rakenteeseen. Tutkimustuloksiksi saatiin jäykistemuotojen malli sekä mahdollisuus pystyä ohentamaan koteloiden materiaalia. Materiaalin

ohenemisen myötä eräälle keskikokoiselle kotelolle laskettiin 118 kilon painon putoavan verrattuna 3 mm teräksestä tehtyyn koteloon. Painon pudotus ei ole kovin suuri, mutta tutkimuksissa pystyttiin kuitenkin toteamaan, että jäykistemuotojen ansiosta kotelon rakenne saadaan jäykemmäksi, vaikka materiaalivahvuutta pienennetään.

Taulukko 3. Opinnäytetyön aikana ja sen jälkeen tehtävät muutokset.

Opinnäytetyön aikana tehdyt muutokset.	Jatkokehitykseen jätetyt muutokset.
Luonnosvaihtoehto kannen pulttilinjan ylittämistä (muokatulla alakatteella).	Muokatun alakatteen siirtäminen koteloiden Layout-rakenteeseen.
Luonnosvaihtoehto koteloinnin päätykappaleen tukemisesta.	Uuden tuen tekeminen standardiosaksi ja paikoitus koteloinnin Layout-rakenteeseen.
Läpivientikoteloiden jäykistemuodot.	Jäykistemuotojen optimointi ja testaaminen.
Uudet standardi nostokorvat, nostokorvien määrän lisäys.	Tukieristimien tuen kiinnitys ruuveilla.
Seinälevyjen taivutuksien lappakorkeuden kasvattaminen.	Tiiveyden tutkiminen (tiivsteiden vaihto).
Puristinlevyn reikien muokkaus.	Kaapeliholkien lisääminen Layout-käyttöliittymään (lämmitysvastukset).
Läpivientilevyn reikien muokkaus.	Selvitys läpivientikoteloiden kalustuksesta alihankkijalla.
Eristyslevyjen reikien muokkaus.	



Kuva 16. Uudenmallisen läpivientikoteloinnin luonnos.

11 JATKOKEHITYS

Opinnäytetyön aikana ei ollut mahdollisuutta toteuttaa aivan kaikkia tietoon saatuja muutoksia. Muutoksien tekeminen olisi vaatinut huomasti enemmän aikaa ja kokemusta, jotta suuret Layout-rakenteet saataisiin toimimaan halutulla tavalla. Tästä syystä alakatteen ja jäykistemuotojen muokkaus Layout-rakenteeseen tehdään opinnäytetyön ulkopuolella. Myös jäykistemuotojen käyttö tulisi optimoida. Jäykisteitä ei ole järkevää käyttää kaikissa kotelon osissa. Myös jäykisteellisten koteloiden koko tulisi optimoida ja selvittää missä menee kotelokoon raja, missä jäykisteiden käyttö on kustannuksien kannalta tehokasta.

Työn ulkopuolelle jätettiin myös muita vartenotettavia kehitys- ja selvityskohteita. Esimerkiksi kotelon kannen kiinnitys olisi hyvä nostaa esiin uudestaan, vaikka sitä osaltaan jo tämän työn aikana mietittiin. Kannen kiinnityksen uusimisella kotelosta olisi mahdollista saada tiiviimpi. Myös muiden tiivisteiden käyttöä tulisi selvittää. Esimerkiksi voitaisiinko korkkitiiviste korvata kumitiivisteellä, jota käytetään CT-muuntajien pienemmissä koteloidissa.

Kokoonpanolta tuli pyyntö selvittää voitaisiinko läpivientikotelot kalustaa valmiiksi alihankkijalla. Tällöin kokoonpanon tarvitsisi vain asentaa valmis kokonaisuus kiinni muuntajaan. Tämä vähentäisi loppukokoonpanon läpimenoaikaa huomattavasti. Idea kuitenkin vaatisi paljon selvitystyötä koskien alihankkijan resursseja ja materiaalien hankintaa. Lisäksi toimenpide vaatisi paljon ohjeistusta, jotta koteloihin saataisiin oikeat osat. Pitkäaikaisen selvitystyön ja ohjeiden laatimisen johdosta tämä osio päätettiin jättää opinnäytetyön ulkopuolelle.

LÄHTEET

- /1/ 2 MET Tekninen tiedotus, 2/81, Esimerkki tuotteen järjestelmällisestä suunnittelusta.
- /2/ ABB Lyhyesti. Viitattu 10.3.2013.
<http://www.abb.fi/cawp/fiabb251/657dfdcf6e344cc7c1256b20003149ae.aspx>
- /3/ ABB Oy, Transformers. Yksikön toiminta. Sisäinen sähköposti.
- /4/ ABB tänään. Kohti kestäväää maailmaa. ABB:n sisäinen tiedote.
- /5/ Getting Started with pro/ENGINEER Wildfire 4.0. A Tutorial-based Guide to Workflow. Parametric Technology Corporation. 2007. Viitattu 9.3.2013.
http://www.engr.uvic.ca/~mech410/proe_tutorials_files/Getting_Started_ProE.pdf
- /6/ Huipputeknologiaa Suomesta 120 vuotta – virstan pylväät. ABB:n sisäinen tiedote.
- /7/ Huipputeknologiaa Suomesta 120 vuotta. ABB:n sisäinen tiedote. 2012
- /8/ Hussein, H. The Story of ABB. Learning and Development. 2013. ABB:n sisäinen tiedote.
- /9/ Master Parameters List. Pro/ENGINEER June 2002 Tip of the Month. Viitattu 15.3.2013. http://www.synthx.com/tom/sy_tip_0206.htm
- /10/ Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E. & Hultin, S., 2010 Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Teknologiateollisuus ry
- /11/ Muukkonen, J. Gottfrid Strömberg – suomalaisen sähkön edelläkävijä. ABB:n sisäinen artikkeli.
- /12/ Muuntajatekniikan perusteet. Opintomoniste. ABB:n sisäinen koulutusmateriaali.
- /13/ Pahl, G. & Beitz, W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. Metalliteollisuuden kustannus Oy.
- /14/ Pro/ENGINEER-Defining Relations. Viitattu 15.3.2013.
<http://www.ncsu.edu/project/graphicscourse/gc/proetut/relation.html>
- /15/ Remmers, V. Top-Down design philosophy. PTC. Viitattu 09.03.2013.
http://www.ptcuser.nl/conf_06/presentations/T%20&%20T%20TopDown%20Des.Des.ppt
- /16/ Sähköverkot. Sähköturvan edistämiskeskus. Viitattu 11.3.2013.
http://www.stek.fi/kysymystori/usein_kysytytja_kysymyksia/fi_FI/sahkoverkot/

/17/ Teräsrakentaminen. HAMKin julkaisu 2/2008. Hämeen ammattikorkeakoulu. Hämeenlinna 2008. Viitattu 27.2.2013.
http://portal.hamk.fi/portal/page/portal/HAMKJulkisetDokumentit/Yleisopalvelut/Julkaisupalvelut/Kirjat/tekniikka_liikenne/HAMK_Teras.pdf

/18/ Top-Down Design Tutorials. ProE Tutorials 2007. Viitattu 6.3.2013.
http://www.proetutorials.com/tutorials_tdd/Tutorials.htm

/19/ Tuomaala, J., Systemaattinen suunnittelumetodi VDI 2222. Viitattu 27.2.2013.
http://ylivieska.cop.fi/sjkkurssit/Koneensuunnittelu/sis%C3%A4lt%C3%B6/systesystemaat/systemaattinen_suunnittelumetodi_kok.htm

/20/ Valtakunnallisesti merkittävät rakennetut kulttuuriympäristöt RKY. Museovirasto. Viitattu 12.3.2013.
http://www.rky.fi/read/asp/r_kohde_det.aspx?KOHDE_ID=4503

Ensimmäinen muutoslista

Aihe	Lähde	Ratkaisut	HUOM!
Kotelon kannen kiinnitys uusiksi	Aftersales, Lähettämö	Taivutetaan seinämät sisään päin ja käytetään kiinnitykseen niittimuttereita ja tiivistämiseen tasotiivistettä	Kannen pitää toimia myös räjähdysluukkuna
Päätyluukun tiivisteiden katkaisu	Lähettämö	Tiiviste katkaistaan läpivientilevyn ja seinän liitoksen kohdalta	Katkaisu siten, että tiiviste on edelleen vesitiivis
Nostokorvat	Lähettämö, Alihankkija, Aftersales	Nostokorvien sijoittamien lähemmäksi reunoja. Pitkissä kappaleissa lähemmäksi keskilinjaa kahden puolen, jotta kappale ei taitu. Lisätään nostokorvien määrää. Tehdään uudenlaiset nostokorvat seiniin kansilevyjen lähelle.	Käytetään vanhantyyppisiä nostokorvia, jos mahdollista.
Alakatteeseen reiät liian pieniä	Lähettämö	Tehdään alakatteeseen 43mm reiät, koska kannen aluslevyn halkaisija on n.40mm. Kaikissa koteloissa aluslevy ei sovi alakatteen läpi.	
Suurien päätyluukkujen ja kansien notkahtaminen irroitettaessa	Lähettämö, Aftersales	Etsitään ratkaisu levyjen tukemiseen. Uusi pokkaustapa, hitsattu latta levyyn?	
Rakenteen tiiveys	Lähettämö		
Puristelevyn reiät. Ruuvit eivät mahdu läpi ilman voimaa.	Lähettämö, Alihankkija	Puristelevyn reiät aina väh. 4mm suuremmaksi kuin käytettävä ruuvi tai tehdään ovaalit reiät. Soikeat reiät	
Läpivientilevyjen piirustuksissa näkyvät lovet turhia	Alihankkija	Poistetaan lovet läpivientilevyjen nurkista. Levyt pystytään särmäämään ilman lovia.	
Läpivientilevyjen reiät liian pieniä	Alihankkija	Suurennetaan reiät 13-14mm	

Pokkauksen ylijäävä osa liian lyhyt	Alihankkija	Pokkauksen ylijäävä osa vähintään 18mm pitkä jos aine vahvuus on yli 2mm	
Aurinkokatoksen kiinnitys ruuviliitoksin	Alihankkija	Käytetään ruuviliitoksia	Tarkennusta Laine tuotannolta
Koteloinnin koko kalustus Alihankkijalla	Lähetämö, Alihankkija	Selvitys mitä kalustukseen kuuluu, ohjeet, hankinnat.	Alihankkija on tehnyt samantapaisia hommia ennenkin
Kannen pulttilinjan ohittaminen	Suunnittelu	Nostetaan kotelon rakennetta menemään kannen pulttien yli. Kotelo kiinni laipalla ja ammutuilla ruuveilla? Vai kynsillä?	
Eristyslevyt eivät sovi paikoilleen	Alihankkija	Suurennetaan reiät tai tehdään niistä soikeita	

Ote puristinlevyn relaatioista

```
/*KIINNITYSREIKIEN (KANSI) MITAT, LKM JA ETÄISYYDET
```

```
/******
```

```
D143 = BOTTOM_PLATE_HOLE1
```

```
D189 = COVER_HOLE_DISTANCE
```

```
P151 = CEIL(BOX_WIDTH / COVER_HOLE_DISTANCE) - 1
```

```
IF COVER_HOLE_DISTANCE == 80
```

```
    D146 = 43
```

```
ENDIF
```

```
IF COVER_HOLE_DISTANCE == 100
```

```
    D146 = 53
```

```
ENDIF
```

```
IF COVER_HOLE_DISTANCE == 120
```

```
    D146 = 63
```

```
ENDIF
```

```
/*SOIKEA LEIKKAUS
```

```
P226 = CEIL(BOX_WIDTH / COVER_HOLE_DISTANCE) - 1
```

```
D224 = COVER_HOLE_DISTANCE
```

```
/*HALKAISIJAT
```

```
IF TANK_COVER_THICK == 8
```

```
    D231 = 12
```

```
ENDIF
```

```
IF TANK_COVER_THICK == 10
```

```
    D231 = 14
```

```
ENDIF
```

```
IF TANK_COVER_THICK == 12
```

```
    D231 = 16
```

```
ENDIF
```

```
IF TANK_COVER_THICK == 16
```

```
    D231 = 20
```

```
ENDIF
```

```
IF TANK_COVER_THICK == 20
```

```
    D231 = 24
```

```
ENDIF
```



```
IF TANK_COVER_THICK == 25
    D231 = 29
ENDIF

/*KESKIPISTEIDEN VALINEN PITUUS
IF TANK_COVER_THICK == 8
    D229 = 8
ENDIF

IF TANK_COVER_THICK == 10
    D229 = 10
ENDIF

IF TANK_COVER_THICK == 12
    D229 = 12
ENDIF

IF TANK_COVER_THICK == 16
    D229 = 14
ENDIF

IF TANK_COVER_THICK == 20
    D229 = 16
ENDIF

IF TANK_COVER_THICK == 25
    D229 = 20
ENDIF

IF COVER_HOLE_DISTANCE == 80
    D228 = 43 - D229/2
ENDIF

IF COVER_HOLE_DISTANCE == 100
    D228 = 53 - D229/2
ENDIF

IF COVER_HOLE_DISTANCE == 120
    D228 = 63 - D229/2
ENDIF

/******
```

LIITE 3

Uuden kotelomallin kuva

