



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
VASA YRKESHÖGSKOLA  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Juha-Matti Mikael Rajala

# Tasajännitelähteen konvertterin mekaniikkasuunnittelu

Tekniikka ja liikenne  
2010

## **ALKUSANAT**

Tämä opinnäytetyö tehtiin Vaasan ammattikorkeakoulun tekniikan ja liikenteen yksikön, kone- ja tuotantotekniikan osastolle. Työ tehtiin The Switch Drive Systems Oy:n Vaasan toimipisteelle keväällä 2010.

Työn valvojina toimi lehtori Juha Hantula Vaasan ammattikorkeakoulusta sekä Pasi Törmänen The Switch Drive Systems Oy:sta. Suuri kiitos kummallekin valvojalle saamistani neuvoista, ohjeista sekä kannustuksesta.

Kiitän myös Timo Karhusta sekä Esko Isotaloa kaikesta tuesta, jota he ovat työtä kohtaan osoittaneet sekä kaikkia muita työn tekemisessä avustaneita henkilöitä. Erityiskiitos kollegalleni Mikko Pohjolalle vaikeiden aikojen tuesta ja turvasta sekä Mari Hautalalle ymmärryksestä ja teknisestä tuesta.

Tämä teksti on julkinen teksti, jonka vuoksi siitä on poistettu kaikki liikesalaisuudet.

Vaasassa 21.4.2010

Juha-Matti Rajala

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Juha-Matti Rajala
Opinnäytetyön nimi	Tasajännitelähteen konvertterin mekaniikkasuunnittelu
Vuosi	2010
Kieli	Suomi
Sivumäärä	62
Ohjaaja	Juha Hantula

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli olla mukana suunnittelemassa ensimmäistä kertaa The Switchin historiassa aurinkovoimalakäyttöön tarkoitettua tehonmuokkainta. Kaappi on teholtaan 1MW ja se tulee ulkokäyttöön, IP luokituksen ollessa IP 65.

Suunnittelun mahdollistamiseksi tuli tutustua aluksi Yhdysvalloissa käytettävään UL- standardiin sekä UBC- maanjäristysluokitukseen.

Itse kaapin suunnittelussa oli tavoite käyttää, niin paljon kuin mahdollista, jo olemassa olevia, tuulivoimalakäyttöön suunniteltuja ratkaisuja, kuitenkin ottaen samalla huomioon paljon aikaisempaa tiukemmat vaatimukset itse ulkokaapille kuin sisämekaniikallekin.

Kaapin suunnittelu on hyvässä vauhdissa ja protoyypin kokoonpanon sekä testauksen on tarkoitus olla valmis kesällä 2010. Lopputyö on rajattu siten, että se voidaan palauttaa, vaikka itse projekti ei olekaan vielä valmis. Tällä saatiin projektista entistä tiiviimpi ja selkeämpi kokonaisuus.

---

Asiasanat: tehonmuokkain, IP 65, UL- Standardi, UBC- luokitus, prototyypä

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

## ABSTRACT

Author	Juha-Matti Rajala
Title	Mechanical Design of DC Converter.
Year	2010
Language	Finnish
Pages	62
Name of Supervisor	Juha Hantula

---

This thesis was meant to a contribution to the mechanical design team in a solar power project of The Switch.

This is the first project to The Switch related to solar power. The power of the converter is 1 MW and it is designed for outdoor use. The cabinet is IP 65 rated.

To begin the project it was necessary to study the required literature which was UL standard and UBC seismic action classification. UL standard is used in USA which is going to be this product's main market.

In the structure of this cabinet the idea was to use as many similar parts as possible as in the earlier The Switch products as. However, updating was necessary because of the UL standard and UBC.

After this thesis document is ready, the project will still be going on. The assembly and testing of the prototype is scheduled to be done at the summer 2010.

As a result the 3D-model of the converter is ready and the 2D-drawings have been started. So conclusion of a successes project can be done

---

Keywords: converter, IP 65, UL standard, UBC rating, prototype

## SISÄLLYS

<b>ALKUSANAT</b> .....	<b>2</b>
<b>TIIVISTELMÄ</b> .....	<b>3</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>4</b>
<b>KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET</b> .....	<b>7</b>
<b>1 JOHDANTO</b> .....	<b>8</b>
1.1 Työn sisältö.....	8
1.2 Lähtökohdat ja ongelmat.....	8
1.3 Tavoitteet ja rajaus .....	9
<b>2 THE SWITCH</b> .....	<b>11</b>
2.1 Liikevaihto ja omistus.....	12
2.2 Tuotteet .....	13
2.3 Suunnittelukäytäntö .....	14
<b>3 UUSIUTUVAT ENERGIALÄHTEET</b> .....	<b>17</b>
3.1 Tuulivoima.....	17
3.2 Polttokennot .....	20
3.3 Aurinkovoima .....	21
3.4 Aurinkosähkön prosessinkuvaus.....	22
<b>4 TEHONMUOKKAIN</b> .....	<b>24</b>
4.1 Vaatimukset .....	26
<b>5 KOMPONENTIT</b> .....	<b>28</b>
5.1 Valintaperusteet .....	28
5.1.1 Invertteri .....	28
5.1.2 Katkaisija.....	29
5.1.3 Suodattimet .....	29
5.1.4 Jäähdytysjärjestelmä .....	30
5.2 Pääkomponenttien sijoittelu.....	34
<b>6 ULKOMEKANIikka</b> .....	<b>37</b>
<b>7 SISÄMEKANIikka</b> .....	<b>46</b>
<b>8 YHTEENVETO</b> .....	<b>56</b>

8.1 Arviointi.....	56
<b>KIRJALLISUUTTA .....</b>	<b>59</b>

## KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

AC	Alternative Current. Vaihtosähkö.
DC	Direct Current. Tasasähkö.
kW	Kilowatti. Tehon yksikkö.
MW	Megawatti. Tehon yksikkö.
UPS	Uninterruptible Power Supply. Laite, jonka tehtävä on taata tasainen virransyöttö lyhyissä katkoksissa ja syöttöjännitteen epätasaisuuksissa.
Invertteri	Laite, joka muuttaa tasavirtaa vaihtovirraksi tai toisinpäin.
Konvertteri	Tehoelektroniikkalaite, jonka avulla liitetään kaksi eri taajuista sähköjärjestelmää toisiinsa. Toiselta nimeltään tehonmuokkain.
IP- luokitus	Euroopassa käytössä oleva järjestelmä sähkölaitteiden tiiveyden määrittämiseksi
IP 65	Ensimmäinen numero kertoo suojauksen tason vieraita esineitä ja pölyä vastaan. Toinen numero kertoo suojauksen vettä ja kosteutta vastaan. Tässä tapauksessa suojaus on pölytiivis (6) ja ympäriinsä vesiruiskun kestävä (5).
A	Pinta-alan tunnus. Sähköliitännöistä puhuttaessa yksikkö on normaalisti $mm^2$ .
I	Virran tunnus. Virran yksikkö on A eli ampeeri.
UBC	Uniform Building Code. Maanjäristys vaatimuksia koskeva luokitus. Luokitus kertoo kuinka todennäköistä maanjäristykset ovat tietyillä alueilla asteikolla 1-4, jossa 4 on kaikkein todennäköisin.

# **1 JOHDANTO**

## **1.1 Työn sisältö**

Insinööriyö aloitettiin The Switch High Power Converters Oy:lle syksyllä 2009. Työn tarkoituksena oli tutustua yleisimpiin tasajännitelähteisiin ja niiden tehonmuokkaukseen sekä olla mukana aurinkovoimalan konvertterikaapin mekaniikkasuunnittelussa UL-standardin mukaan. Konvertterikaapilla tarkoitetaan tässä metallirunkoista kaappia, jonka sisään on kiinnitetty komponentit, jotka muodostavat tehonmuokkaimen.

## **1.2 Lähtökohdat ja ongelmat**

Työn lähtökohtana oli olla mukana suunnittelemassa nestejäähdytteistä, 1 megawatin tehoista massatuotantoon sopivaa konvertterikaappia, aurinkoenergiapuistosovellukseen. Tämän hetken aurinkovoimaloista noin 85 % on talojen ja ostoskeskusten katoille sijoitettavia malleja eli niin sanottuja rooftop-ratkaisuja. Näille markkinoille tarjontaa on paljon ja teholuokat ovat varsin pieniä, jolloin The Switch tulee keskittymään aurinkoenergiapuistoratkaisuihin. Aurinkoenergiapuistoratkaisuissa teholuokat ovat huomattavasti suuremmat, tällä hetkellä 0.5 megawattista yhteen megawattiin. Aurinkoenergiapuistoista puhuttaessa myös olosuhteet muuttuvat huomattavasti edellä mainittuihin rooftop-asennuksiin verrattuna. Yleisesti aurinkoenergiapuistot rakennetaan aavikoille joissa lämpötila vaihtelua voi olla jopa 70 °C:tta. Aavikot asennuspaikkoina aiheuttavat monia ongelmia konvertterikaapin suunnitteluun, muun muassa kaapin jäähdytyksen sekä tiivistyksen kanssa. Huomoitavaa on myös, että puistot voidaan rakentaa jopa 3 kilometriä meren pinnan yläpuolelle /1/. Haastavien olosuhteiden vuoksi ideana oli käyttää The Switchin eräälle toiselle asiakkaalle suunnittelemaa ja valmistamaa konvertterikaappia esimerkkinä ja suunnitelun lähtökohtana. Koska kyseessä on eri projekti joutuu monia asioita muuttamaan ja soveltamaan, mikä vaatii paljon tietotaitoa kyseisestä rakenteesta sekä uuden rakenteen vaatimuksista.



Merkittävää on, että tämä on The Switchin ensimmäinen projekti aurinkovoimaan liittyen. Tämän johdosta projektissa oli mukana aivan erilaisia epävarmuustekijöitä kuin aikaisempien tuotteiden kanssa. Näiden asioiden takia tiedossa oli jo projektin alussa, että suunnittelu-, asennus- sekä testaustyötä tullaan jatkamaan vielä pitkään tämän työn laatimisen jälkeen. Kerralla täydellisen tuotteen valmistaminen on mahdotonta. Tämän vuoksi itse lopputyö rajattiin ja katkaistiin sopivasta kohtaa, huolimatta itse projektin vaiheesta kyseisellä hetkellä.

Konseptisuunnittelun mukaan konvertterikaapin suunnittelu on jaettu kahteen osioon, jossa ensimmäinen sisältää sisämekaniikan eli DC-moduulin (tulo moduuli), invertterimoduulin, AC-moduulin (lähtö moduuli) sekä jäähdytysmoduuli. Toisessa osiossa on itse ulkokaapin suunnittelu, jonne edellä mainitut moduulit asennetaan ja kytketään.

Oma osuuteni suunnittelussa oli ympäristö- ja lainsäädäntövaatimuksiin perehtyminen sekä itse konvertterilaitteiston ulkokaapin suunnittelu. Haasteiksi tässä muodostuivat konvertterin tulevat markkinat Yhdysvalloissa, jolloin komponenttien ja tuotannon tulee täyttää UL-standardin vaatimukset. Yleisesti ottaen UL-standardi on paljon tiukempi kuin eurooppalaiset vastaavat. Huomion arvoista on myös se, että tämä projekti ei ole ainoastaan ensimmäinen The Switchille aurinkovoima-alalla vaan se on myös ensimmäinen, joka suunnitellaan Yhdysvaltojen markkinoille, heidän käyttämän UL-standardin mukaan. Lisähaasteita toivat myös ympäristövaatimukset, jotka nekin ovat varsin tiukat. Kaapin tulee kestää lähes 100 °C lämpötilavaihelut, äärimmäisen korkean ilmankosteuden sekä maanjäristykset. Ulkokaappia ajatellen etenkin korroosion estäminen, kondenssiveden minimointi sekä maanjäristysturvallisuuden täyttäminen tulee olemaan erittäin haasteellista.

### **1.3 Tavoitteet ja rajaus**

Työn rajauksessa koetettiin saada mahdollisimman tiivis ja selkeä paketti, koska kyseinen laite on prototyyppi, jolloin sen lopullinen valmistuminen tulee viemään

hyvin pitkän ajan. Työ rajattiin siten, että aluksi tutustuttiin UL-standardiin, jonka jälkeen standardin ympäristövaatimusten sekä speksin perusteella alettiin itse suunnittelutyöhön. Loppuosuus työstä oli suunnittella konvertterille ulkokaappi, joka suojaa itse laitteistoa ympäristöltä sekä mahdollistaa koko paketin siirtelyn paikasta toiseen.

Tämä oli alkuperäinen suunnitelma, josta kuitenkin jouduttiin osittain luopumaan suunnittelutyössä havaittujen ongelmien sekä projektin erittäin tiukan aikataulun takia. Päätettiin siirtää ulkokaapin suunnittelu sekä valmistaminen alihankkijalle, jolla on vuosien ammattitaito alalta. Lisää tästä päätöksestä myöhemmin tämän työn aikana. Tämän rajauksen jälkeen keskityttiin enemmän itse sisämekaniikan suunnitteluun, sähkö-osien kiskokytkentöihin sekä komponenttien kiinnitykseen. Tietenkään jo aikaisemmin tehtyä tutkimustyötä ulkokaappia, standardeja ja ympäristövaatimuksia unohtamatta.

## 2 THE SWITCH

Joulukuussa 2006 kolme yhtiötä – Verteco, Rotatek ja Youtility, yhdistyivät yhdeksi yhtiöksi /1/, jonka nimeksi tuli The Switch. The Switch koostui vuodenvaihteeseen 2009-2010 emoyhtiöstä – The Switch Engineering Oy sekä tytäryhtiöistä – The Switch High Power Converters Oy - Vaasa, The Switch Electrical Machines Oy - Lappeenranta, The Switch Controls and Converters – Hudson, New Hampshire, Yhdysvallat ja The Lu'an Switch Electric Power Production Equipment Co. Ltd – Lu'an, Kiina /12/14/. Vuodenvaihteen jälkeen The Switch High Power Converters Oy sekä The Switch Electrical Machines Oy yhdistyivät ja näin muodostui The Switch Drive Systems Oy. Edellä mainittujen lisäksi The Switchin toimitiloja löytyy Suomesta Vantaalta, jossa sijaitsee konsernin pääkonttori, Saksasta Hampurista sekä Kiinasta Pekingistä. Yhteensä The Switch työllistää yli 140 työntekijää /18/.

The Switch suunnittelee ja valmistaa sähköisiä voimansiirtoratkaisuja uusiutuvia energialähteitä, kuten tuuli- ja aurinkovoimasovelluksia ja polttokennosovelluksia teollisuuden tarpeita varten. Edellä mainituista pääpaino on tuulivoima-alalla. Erikoisasantuntemusta löytyy säätöjärjestelmien, tehoelektronikan sekä sähkökäyttöjen parista. The Switchin valmistamat tuotteet optimoidaan asiakkaan omien laitteistojen kanssa siten, että paras mahdollinen tuottavuus saavutetaan /18/13/.

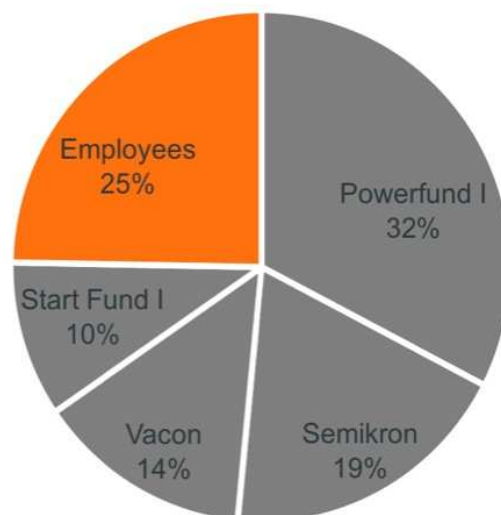
Vaasassa sijaitseva The Switch Drive Systems-yksikkö suunnittelee ja valmistaa tehonmuokkaimia vaihtoehtoisen energian, kuten tuuli- ja aaltovoiman hyödyntämiseen. Lappeenrannassa sijaitseva yksikkö vastaa teollisuudessa käytettävien nopeussäädettävien sähkökäyttöjen, moottoreiden sekä generaattoreiden suunnittelusta sekä valmistuksesta. The Switchin Yhdysvaltojen yksikkö, The Switch Controls and Converters, keskittyy aurinko- ja polttokennoissa käytettäviin DC/AC tehonmuokkaimiin ja säätöjärjestelmiin /12/.



**Kuva 1.** The Switch logo /23/.

## 2.1 Liikevaihto ja omistus

The Switch konsernin liikevaihto oli 53.7 miljoonaa euroa vuonna 2008 /3/. Omistussuhteet käyvät ilmi kuvasta 2.



**Kuva 2.** Osakkeenomistajat /21/.

## 2.2 Tuotteet

The Switch on teknologiajohtaja uusiutuvien energiamuotojen sekä energiaa säästävien sovellusten tehonmuokkainten valmistajana. Päätuotteena The Switchillä on megawattiluokan tehonmuokkaimet sekä kestmagneettigeneraattorit tuulivoimalakäyttöön. Muita The Switchin valmistamia tuotteita ovat: moottorit, säädettävät sähkökäytöt ja DC/AC – konvertterit. /20/

### Täystehonmuokkaimet

The Switch VS on sarja täystehokonverttereita, jotka on suunniteltu toimimaan yhdessä sähköverkkoon kytketyn muuttuvanopeuksisen generaattorin kanssa, tehoalueen ollessa 250 - 5400 kW:a. Tehonmuokkaimet voidaan toteuttaa yhdellä yksiköllä aina 1800 kW:iin asti ja sitä suuremmilla tehoilla kaksi tai useampia yksiköitä kytketään toimimaan rinnakkain. Täten The Switch pystyy toimittamaan tehonmuokkaimet ja kestmagneettigeneraattorit aina 6 MW:iin asti. /16/

### Suurnopeusmoottorit

The Switch suunnittelee ja valmistaa suurnopeusmoottoreita, tehoalueella 300 – 1000 kW:a nopeuksien ollessa 6000 – 12000 rpm. Alueen ulkopuolelle sijoittuvien moottoreiden toimitus on mahdollista tilauksesta. /17/

### Kestomagneetikoneet

Tavallisimmat toimitettujen kestmagneetikoneiden toiminta-alueet ovat keski- ja suurnopeuskoneilla 1000 – 20000 rpm, tehon ollessa alle 1000 kW:a sekä hidaskäyntisillä koneilla <1000 rpm, 1000 – 3500 kW:a. Myös muut tehoalueet ovat mahdollisia sillä tällä hetkellä suurin The Switchin valmistama generaattori on teholtaan 3 MW:ia, 17 rpm pyörivä ilman vaihteistoa toimiva suoravetoyksikkö. Myös pienempitehoisia on toimitettu, esimerkiksi <100kW, <20000rpm.

Kestomagneetikoneiden tyypillisiä käyttökohteita ovat generaattoreiden lisäksi paperikoneiden käytöt, tuulettimet, ruuvikompressorit sekä kääntöpöydät ja kuljettimet. /19/

#### Variable Speed Gensets (VSGs)

VSG:n tehoelektronikkateknologia tarjoaa generaattoreiden tehokkaaman toiminnan verrattuna kiinteänopeuksisiin laitteistoihin. Tehokkuus perustuu käyttömootorin optimikierrosten sovittamisella ulosottotehoon. VGS tasaa sähköverkon jännitteen ja taajuuden, joka mahdollistaa käyttömootoreiden käytön pienemmillä nopeuksilla. Suurimmat hyödyt tästä saavutetaan polttoainesäästöinä, vähentyneinä melu- ja saastepäästöinä sekä käyttömootorin pidentyneenä elinkänä. /24/

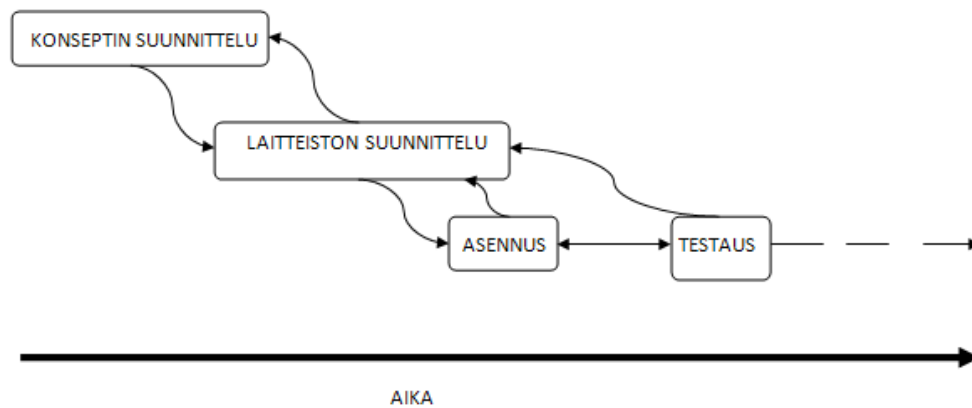
#### Aurinkovoima- ja polttokennosovellukset

The Switch tarjoaa kattavan tehonmuokkainvalikoiman sekä ilma- että nestejäähdytetyllä tekniikalla toteutettuna, aurinkovoima- ja polttokennosovelluksiin /22/. Polttokennoratkaisut soveltuvat PEM- ja SOFC-tyyppisille polttokennoille. Polttokennosovellusten tehonmuokkaimet mahdollistavat sekä sähköverkkoon liittymisen että toimimisen UPS:nä sähköverkon ulkopuolella /15/.

### **2.3 Suunnittelukäytäntö**

The Switchin asiakaskunta on laitevalmistajat eivätkä niin sanotut loppuasiakkaat, jolloin kaiken suunnittelun ja tuotannon tulee olla varsin joustavaa joka suuntaan. Projektit lähtee liikkeelle yhdessä asiakkaan kanssa tehtävästä konseptisuunnittelusta, jossa asiakas määrittää mihin tuotteita käytetään ja minkälaiset vaatimukset laitteille on. Mahdollisimman nopean suunnittelun ja muutoksiin reagoinnin mahdollistamiseksi itse laitteiston suunnittelu aloitetaan limittäin konseptisuunnittelun loppuvaiheilla. Tällä tavoin saadaan suunnittelussa huomattuja mahdollisia epäkohtia ja parannusehdotuksia eteenpäin konseptisuunnitteluun ja päinvastoin. Vastaavasti prototyypin valmistus aloitetaan

limittäin laitteiston suunnittelun kanssa, mikä puolestaan mahdollistaa suunnittelussa nopean reagoinnin virheisiin ja muihin epäkohtiin, joita ei välttämättä suunnittelussa ole otettu huomioon. Kun asennus on valmis laitteisto testataan ja jälleen muutosvaatimukset toimitetaan suoraan suunnitteluun. Tällä tavoin pienennetään prosessiin käytettävää aikaa. (Kuva 3.)



**Kuva 3.** Limitetty tuotekehitysprosessi.

Projektissa, johon lopputyö liittyy, eteni itse suunnittelutyö siten, että vaatimusten, jotka konverterille oli määrätty, saatuaamme aloitettiin miettimään onko tässä projektissa mahdollista käyttää jo valmiina olevia rakenteita tai voidaanko jo olemassa olevista rakenteista kohtuullisilla muutoksilla saada helpotusta tämän projektin suunnittelutyöhön. Samaan aikaan jouduttiin tutkimaan ja ottamaan selvää eri rakenteiden ympäristön kestosta sekä tutustumaan eri maanosissa käytettävien standardien sekä ympäristöluokituksen sisältöön. Tässä vaiheessa syntyneet ideat ovat hyvin periaatteellisia ja niiden myöhempi käyttö on hyvin epävarmaa. Vaatimusten jälkeen seuraava tärkeä tieto suunnittelun kannalta on osaluettelo, josta tulee käydä ilmi ainakin tärkeimmät komponentit ja niiden toimittajat. Tämän jälkeen voidaan itse suunnittelu aloittaa joko tilaamalla 3D-mallit komponenteista valmistajalta tai mallintamalla ne itse. Kun mallit komponenteista on saatu voidaan aloittaa itse liityntäkiskojen sekä kiinnitysten suunnittelu. Oleellinen osa tuotteiden sijoittelua on myös konseptisuunnittelun yhteydessä tehtävä layout, joka määrittää minne tietyt komponentit tullaan

sijoittamaan, jotta kokonaisuus säilyttää, esimerkiksi asiakkaan kanssa sovitut ehdot. Kun komponentteja aletaan sijoittelemaan kaappiin suunnitteluvaiheessa, olisi kaikkien vaatimusten hyvä olla selkeästi tiedossa.



### **3 UUSIUTUVAT ENERGIALÄHTEET**

Uusiutuvien energialähteiden käyttö ja kysyntä ympäri maailmaa ovat viime aikoina yleistyneet hurjasti. Kysynnän lisääntymisen vuoksi myös teknologia uusiutuvien energialähteiden parissa on kehittynyt kovaa vauhtia. Suomi on pysynyt kehityksessä mukana ja onkin yksi maailman tehokkaimmin uusiutuvia energiamuotoja hyödyntävä maa. Suomen energiankulutuksesta neljännes tulee uusiutuvista energialähteistä. Sähköntuotannon puolella osuus nousee jopa yli neljänneksen. Suomelle tärkeimpiä uusiutuvia energialähteitä ovat bioenergia (puu ja puupohjaiset polttoaineet), vesivoima, tuulivoima, maalämpö sekä aurinkoenergia /27/. Tähän työhön liittyen esitellään niistä tarkemmin tuulivoiman sekä DC- käytöt eli aurinkosähkö sekä polttokennosovellukset.

#### **3.1 Tuulivoima**

Tuulessa piilevät valtavat voimat huomattiin jo vuosituhansia sitten rakentamalla laivoihin mastoja, joiden väliin kiinnitettiin sopivan kokoisia kankaita. Näihin kankaisiin takertuva tuuli aiheutti laivalle sitä eteenpäin vievän voiman. Tällä keinolla merten yli ollaan päästy ilman moottoreita jo ajat sitten ja tuuli onkin ollut erittäin tärkeää koko nykyisen maailmankuvan muodostumisessa. Myöhemmin tuulivoimaa on alettu käyttämään hyväksi myös muuttamalla sen voima pyörimisliikkeeksi ja sitä kautta edelleen voimaksi. Tällaista pyörivää voimaa on käytetty runsaasti, esimerkiksi viljan jatkojalostamiseen (kuva 4).



**Kuva 4.** Perinteinen tuulimylly. /33/

Myöhemmin pyörimisliikkeen mahdollisuutta, myös sähkön tuottamiseen, alettiin tutkia ja ensimmäiset tuotekehityksen askeleet otettiin toisen maailmansodan aikoihin Tanskassa. Vuonna 1950 tuulivoimaloiden tuotekehitystyö poiki ensimmäisen koelaitoksen. Turbiini oli läpimitaltaan 8 metriä ja generaattorin teho 15 kW. Tämä ensimmäinen tuulivoimala oli ns. Takatuulilaitos, mutta kokeissa ilmenneiden ongelmien vuoksi alettiin kehittämään etutuulilaitosta. Samassa yhteydessä kehitettiin myös kärkijarruperiaate, joka on käytössä vielä nykyäänkin /11/. Kärkijarru perustuu aerodynamiikkaan ja toimii käytännössä siten, että siiven kärkiosa kääntyy kohtisuoraan tuulta vasten, jolloin pyörimisliike lakkaa. Kääntyvän osan pituuden ei tarvitse olla kuin alle 10 %:a siiven kokonaispituudesta. Pyörimisliike lakkaa jo yhden kärkijarrun toimiessa, mutta turvallisuussyistä jokaisessa siivessä käytetään kärkijarrua, joka normaalisti laukeaa keskipakovoiman avulla. Jokaisen lavan kärkijarrut on sidottu toisiinsa jarruvaijerilla jonka tarkoitus varmistaa, että jokaiseen lapaan kohdistuu saman suuruinen voima jarrutettaessa /26/. Näiden parannusten pohjalta vuonna 1951 valmistui ensimmäinen erillisverkkoon asennettu 35kW:n tasavirtavoimala, joka toimi 17,5 metrin turbiinilla.

Vuonna 1956 The Association of Danish Electric Utilities aloitti 200 kW:n voimalan kehittämisen rahoituksen. Gedser nimellä tunnettu laitos valmistui vuonna 1959 ja se on nykyaikaisen tuulivoimalan esikuva.

Tanska on muutenkin ollut tiennäyttäjänä muulle maailmalle tuulivoima asioissa. Vuoden 1973 öljykriisin aikaan maatioilla oli huutava tarve lämpöenergiasta, mutta öljy oli kallista. Ratkaisuksi tanskalaiset keksivät ilmaisen tuulivoiman. Pian tanskalaiset kyläpajat alkoivat kehittää pieniä tuulivoimaloita, joita suurennettiin jatkuvasti. Vuonna 1979 Tanskan lainsäädäntö mahdollisti sähkönmyynnin sähköyhtiöiden omistamiin verkkoihin ja samalla sähkön myynnistä tuli myös kannattavaa. Lakiuudistuksen aikaan vakiintui 22 kW:n taso, joka vuotta myöhemmin kasvoi jo 55 kW:iin ja samana vuonna teho valikoima kattoi myös 75 kW kokoluokan. Merkittävää on, että Tanskan valtio oli tukemassa alusta alkaen tuotekehitystä ja enegiantuotantoa. Niinpä myöskin maailman markkinat avautuivat Tanskalle sekä tuulivoimalle. 1980- luvun alussa maailmalle vietiin sadoittain 55-75 kW:n voimaloita. Suurimpana markkina-alueena toimi tuolloin Yhdysvallat ja erityisesti Kalifornian osavaltio. Vuonna 1985 alettiin kokeilemaan ensimmäistä kertaa tuulipuistoja eli alueita joissa on useita voimaloita lähekkäin. Alunperin tuulipuistoja rakennettiin pelkästään valmistajia varten, mutta vuonna 1988 alkoivat sähkölaitokset kiinnostua puistoista myös. Puistojen myötä tuotantotehot nousivat MW-luokkaan ja sitä kautta vuosituotot GW-luokkaan, luokkiin joista sähköyhtiöt olivat kiinnostuneet /11/.



**Kuva 5.** Nykyaikaisia tuulivoimaloita tuulivoimapuistotyylisiin rakennettuna.

### 3.2 Polttokennot

Polttokennoista puhuttaessa tarkoitetaan virtalähteitä, jotka muodostavat vedystä tai vetypohjaisista polttoaineista sähköä, vettä sekä sivutuotteena lämpöä. Polttokennossa on kaksi elektrodia, positiivinen katodi sekä negatiivinen anodi.

Kennoon syötettävän polttoaineen vety reagoi ilman hapen kanssa, jolloin muodostuu vettä ja lämpöä. Samalla vedyn elektroni vapautuu ja näin muodostuu sähköä. Mahdollisimman tehokkaan reaktion saavuttamiseksi yksittäinen kenno on varsin pieni, joten halutun teholuokan saavuttamiseksi kennoja liitetään useita yhteen, jolloin syntyy polttokennosto. Polttokennoston yhteyteen rakennetaan lisäksi vielä laitteisto, joka muokkaa sähköä käytettävään muotoon. /2/

Polttokennosto on varsin samankaltainen virtalähde kuin akku. Sillä erolla, että polttokennot tuottavat sähköä laitteen ulkopuolelta syötettävistä reaktioaineista, kun taas akuissa reaktioaineet ovat laitteen sisällä. Tämän vuoksi polttokennoilla pystytään tuottamaan paljon akkuja pidemmän ajan sähköä, jonka vuoksi ne korvaavatkin akkuja monissa sovelluksissa. Polttokennon vahvuuksia on päästötömyys sekä erittäin korkea hyötysuhde. /31/

### **3.3 Aurinkovoima**

Aurinkovoima jaetaan yleensä kahteen eri osioon; aurinkolämpöön sekä aurinkosähköön. Auringon tuottamaa lämpöä on hyödynnetty jo useiden vuosituhansien ajan rakentamalla asunnot siten, että aurinko lämmittää asunnot jolloin ulkopuolisten lämmönlähteiden käyttö voidaan minimoida. Aurinkolämpöä käytetään samaan tarkoitukseen vielä nykyäänkin useissa maissa. Etenkin useissa päiväntasaajan lähellä olevissa maissa käytetään aurinkolämpöä myös lämmittämään, esimerkiksi peseytymiseen käytettävä vesi. Aurinkolämmön avulla tuotetaan myös sähköä käyttämällä useita keskitettyjä paraboloidisia peilejä, jotka lämmittävät joko nestettä tai ilmaa ja täten mekaanisen energian kautta saadaan sähköä. Yhdysvalloissa Kalifornian ja Nevadan osavaltioissa näitä sovelluksia käytetään varsin paljon. /32/

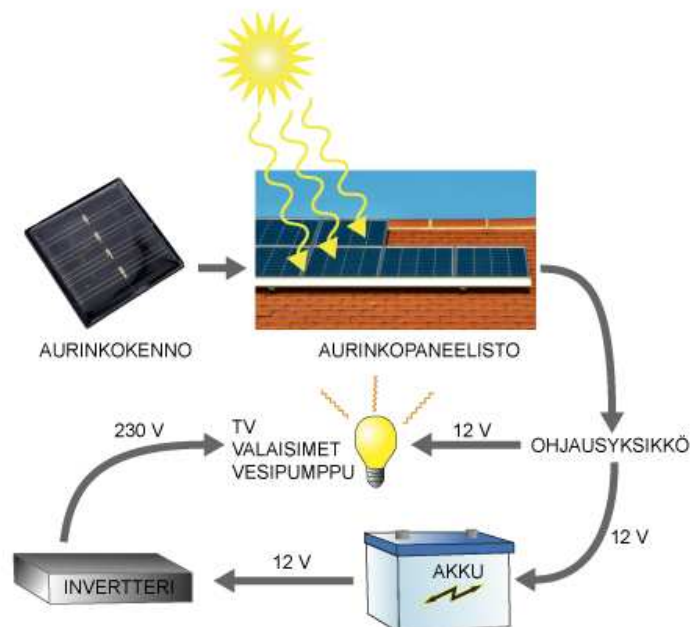
Aurinkosähkö puolestaan on hieman uudempi keksintö. Ensimmäinen toimiva aurinkokenno rakennettiin vuonna 1883, materiaalina toimi tuolloin seleeni. Nykyisen muotonsa aurinkokennojen katsotaan saaneen kuitenkin vasta vuonna 1954, jolloin Yhdysvalloissa havaittiin valosähköilmiö piistä valmistetussa

liitoksessa. Tämän havainnon pohjalta valmistettiin uudenaikainen aurinkokenno, jonka hyötysuhde (6 %) oli ylivoimainen aikaisempaan verrattuna.

Aivan, kuten tuulivoimassakin, myös aurinkovoimassa ja etenkin aurinkosähkössä vuoden 1973 öljykriisi on ollut suuri innostaja eri valtioille panostamaan tuotekehitykseen. Vuoteen 1980 mennessä tuotekehitys alkoi olla valmista ja piipohjaisia aurinkokennoja valmistavia tehtaita alettiin perustamaan Yhdysvaltoihin, Japaniin sekä Eurooppaan. Aurinkokennojen ongelmana on kuitenkin aina ollut niiden korkea hinta ja niinpä vasta viime vuosina on alettu rakentamaan MW-luokan aurinkosähkövoimaloita. /7/

### 3.4 Aurinkosähkön prosessinkuvaus

Auringonsäteistä sähköenergiaa tuottava voimalaitos sisältää aurinkokennoista koostuvan aurinkopaneeliston, ohjausyksikön sekä akuston. Käyttötarpeen mukaan voidaan käyttää joko ohjausyksiköltä valmiiksi tulevaa 12 V sähköä. Haluttaessa saada normaali sähköverkon jännite (230 V) käyttöön tulee laitteistoon kytkeä erillinen invertteri. /10/



**Kuva 6.** Aurinkosähkölaitteisto. /10/

Aurinkokennot jaetaan yleisesti kolmeen sukupolveen niiden käyttöönottojärjestyksen mukaan. Ensimmäisen sukupolven aurinkokennoilla tarkoitetaan kennoja, joissa on materiaalina käytetty yksi- ja monikiteistä piitä. Tämän sukupolven kennoilla vahvuus on luotettavuus, pitkälle kehitetty valmistustekniikka sekä piin korkea hyötysuhde. Toisen sukupolven aurinkokennot ovat niin sanottuja ohutkalvoisia kennoja, joissa materiaalina käytetään Galliumarsenidia (GaAs), Kadriimtelluridia (CdTe), Kupari-indiumdiselenidia (CIS) sekä Amorfista piitä (a-Si). Toisen sukupolven aurinkokennojen materiaaleista eniten on käytetty Kadriimtelluridia, koska se pystyy absorboimaan myös erittäin lyhytaaltoista auringonsäteilyä. Amorfista piitä käytetään runsaasti kulutuselektronikassa sen edullisuuden vuoksi. Kolmannen sukupolven aurinkokennot ovat nanotekniikkaan pohjautuvia. Yleisimpänä sovelluksena käytetään väriaineaurinkokennoja. Väriaineaurinkokennojen vahvuutena on edullinen tuotanto, lähes piin hyötysuhteella /3/.

Kaikilla aurinkokennoilla on sama toimintaperiaate eli ne pyrkivät muuntamaan auringon näkyvää valoa valosähköilmiön avulla sähköenergiaksi. Käytännössä kennolle saapuva säteily (fotoni) irrottaa kennostosta elektroniukkopareja, jotka toimivat varauksenkuljettajana. Tämän jälkeen elektronit siirtyvät johtimiin, joista edelleen ohjausyksikölle ja akustolle /30/.

Aurinkopaneelin ja akuston välissä oleva ohjausyksikkö säätelee akun latautumista ja purkautumista sen mukaan, mikä on syntyvän energian määrä sekä tarve /10/.

## 4 TEHONMUOKKAIN

Tehonmuokkain on tehoelektroniikkalaite, jonka avulla liitetään kaksi eri taajuista sähköjärjestelmää toisiinsa. Tehonmuokkainkojeisto koostuu inverttereistä, suotimista, katkaisijoista, jäähdytysjärjestelmästä sekä useista pienemmistä komponenteista. Tehonmuokkaimen osat vaihtelevat käyttötarkoituksen sekä asiakkaiden toiveiden mukaan. Tehonmuokkaimissa voidaan esimerkiksi käyttää joko ilma- tai nestejäähdytintä. Tehorajoista riippuen tehonmuokkaimia voidaan kytkeä rinnan suuremman tehonkeston saavuttamiseksi. Tuulivoimaloihin tarkoitetuissa tehonmuokkaimissa on tarjolla kaksi erilaista ratkaisua, täysitehoinen tehonmuokkainrakenne sekä ns. Kaksoissyötetty (doubly-fed). Näistä The Switch on keskittynyt täysitehoiseen tehonmuokkaimiin.

The Switch on tähän mennessä valmistanut yhden ilmajäähdytteisen tehonmuokkaimen aurinkoenergiasovelluksiin. Kyseinen tehonmuokkain oli teholtaan 140 kW:a. Tehonmuokkain, jota tässä työssä käsitellään tulee olemaan The Switchin ensimmäinen nestejäähdytteinen aurinkoenergiaan tarkoitettu tehonmuokkain, teholtaan 1MW:a.



**Kuva 7.** Aurinkovoimalakäyttöön tehty ilmajäähdytteinen tehonmuokkain. /22/





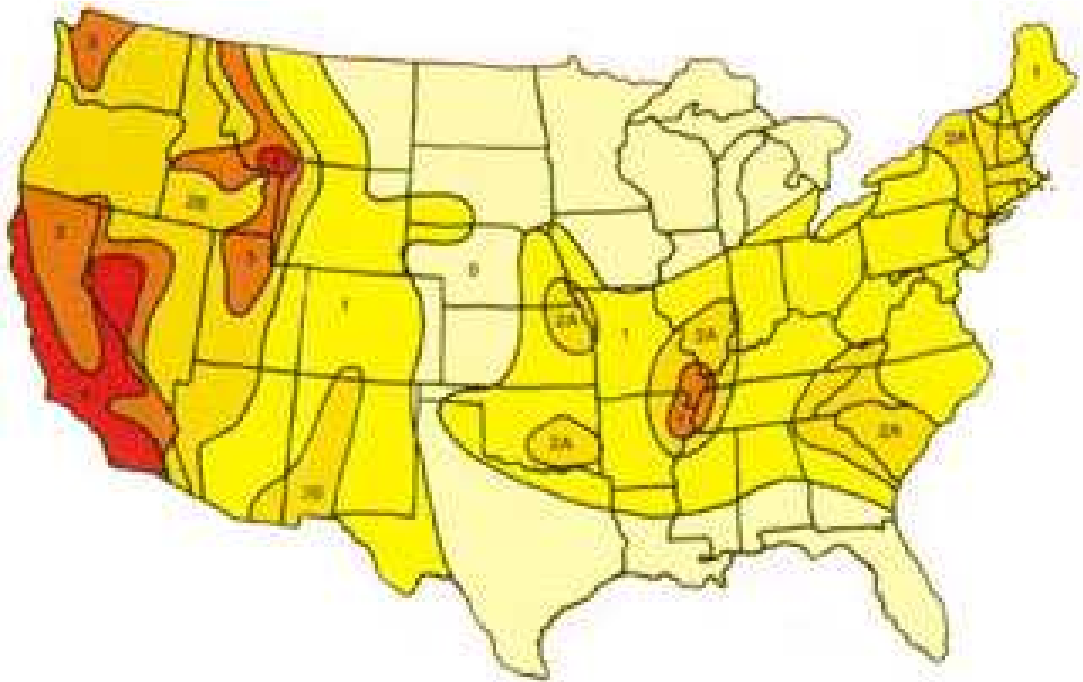
**Kuva 8.** Tuulivoimalakäyttöön tehty nestejäähdytteinen tehomuokkain./25/

Nämä kaksi rakennetta eroavat toisistaan huomattavasti parista merkittävästä syystä. Tuulivoimalakäyttöön tarkoitetussa tehonmuokkaimessa tuulivoimalan generaattorilta tuleva vaihtelevataajuinen vaihtovirta muutetaan tasavirraksi, jonka jälkeen se syötetään invertterille ja sieltä edelleen se muutetaan jälleen halutun taajuiseksi vaihtovirraksi. Periaatteessa tuulivoimalaan tarkoitetussa konvertterikaapissa sähkö muutetaan siis  $AC \rightarrow DC \rightarrow AC$ . Aurinkoenergiatehонmuokkaimessa käytetään periaatteessa vain puolta tästä. Muunnokset menevät  $DC \rightarrow AC$ . Tämän takia pääkomponenttien määrä ja sijoittelu eroavat huomattavasti. Toinen merkittävä asia on jäähdytys. Koska tätä työtä kirjoitettaessa vasta suunnitellaan nestejäähdytteistä aurinkovoimalakäyttöön tarkoitettua tehonmuokkajaa, vertailussa voidaan käyttää ainoastaan

ilmajäähdytteistä versiota. Näiden ja suuren teho eron vuoksi kuvissa 7 ja 8 esiintyvät konvertterikaapit eroavat toisistaan suuresti. Suunnitteilla oleva kaappi tulee vielä näyttämään uutta suuntaa mekaniikalle verrattuna edellä mainittuihin kaappeihin sisäisen jäähdytyksensä sekä IP 65 tiiviin, maanjäristystä kestäväen ulkokaapin vuoksi.

#### **4.1 Vaatimukset**

Tähän projektiin suunniteltava tehonmuokkain tulee olemaan nestejäähdytteinen, jonka ulkoiset mitat ovat 3000 mm x 1200 mm x 2400 mm tämä sisältää invertterin ympärillä olevan IP 65 luokitellun ulkokaapin sekä erillisen jäähdytynyksikön jonka koko on 3000 mm x 400 mm x 2400 mm. Tehonmuokkaimen suunniteltu kokonaispaino tulee olemaan noin 3000 kg:a. Kuten edellä jo mainittiin ulkokaapin kotelointiluokka on IP65. Kaapin suunnittelu, kokoonpano sekä testaus tullaan toteuttamaan UL 508 C-standardin mukaan. Laitteelle on määrätty värinän- ja iskunkestorajat, nämä tullaan suunnittelemaan ja testaamaan EN50178 ja EN60068-2-6 standardien mukaisesti. Ympäristövaatimusten mukaan kaapin tulee kestää lämpötilavaihteluja välillä -30..+70 °C, ilmankosteuden ollessa 5..99 %:a. Asennuskorkeus voi ylittää aina 1500 metriin saakka. Kaapin tulee täyttää maanjäristysluokan UBC 4 vaatimukset. Käytännössä UBC 4 on alue, jolla on erittäin suuri riski sattua kovia maanjäristyksiä, esimerkiksi Yhdysvaltain Kalifornia.



**Kuva 8.** Kuvasta käy ilmi yhdysvalloissa esiintyvien maanjäristysten todennäköisyys. Punainen väri on Zone 4 ja siellä maanjäristysriski on äärimmäinen. Oranssi on Zone 3, tummempi keltainen Zone 2 ja keltainen Zone 1.

/29/

Laitteen tulee antaa sähköverkkoon tehoa 1MW, jolloin järjestelmän sisäinen virta on 2500 ampeeria tasasähkökentässä sekä 1900 ampeeria vaihtovirtakentässä. Konvertterikaapin suunniteltu elinikä on 20 vuotta. /9/

## 5 KOMPONENTIT

### 5.1 Valintaperusteet

Tehonmuokkaimen komponentteja valittaessa tähän projektiin tuli kiinnittää huomioita siihen, että kyseiset komponentit kestävät vaaditut olosuhteet sekä käytettävät virrat. Myöskin eduksi oli, jos etenkin raskaat komponentit olisi mahdollista asentaa esimerkiksi makaamaan ilman, että komponentin tekniset ominaisuudet siitä kärsisivät. Seuraavaksi esiteltynä tehonmuokkaimen pääkomponentit.

#### 5.1.1 Invertteri

Tämän tehonmuokkaimen invertteri valittiin Vaconin valmistamasta nestejäähdytteisestä NX-sarjasta. Kyseinen sarja kattaa invertterit tehoalueella 5,5-5300 kW sekä jännitealueella 380-690 V. Valitun invertterin malli on CH-64 (Kuva 9) ja sen tehoraja on noin 1,9 MW:a. Itse invertteri koostuu kahdesta mekaanisesta yksiköstä, teho-osasta sekä ohjausosasta. Kuten allaolevasta kuvasta näkyy, teho-osa koostuu kolmesta rinnakkain olevasta moduulista. Moduulien määrä vaihtelee laitteiston koosta riippuen.



**Kuva 9.** Vacon CH-64 Inverter. /16/

Invertterin ohjausyksikössä on ohjauspaneeli parametrien asettamista, käyttötietojen lukemista sekä ohjauskomentojen antamista varten (kuva 10). Näiden ominaisuuksien avulla ohjataan itse laitetta. Ohjausyksikkö on myös mahdollista kytkeä suoraan tietokoneeseen, jolloin ohjaus voidaan suorittaa tietokoneella.



**Kuva 10.** PDX-089T-kosketusnäytöllinen ohjausyksikkö invertterille./4/

### 5.1.2 Katkaisija

Tehonmuokkaimen virtapiiriä suojaavat sulakkeiden lisäksi katkaisijat, joita on niin tulo- kuin lähtöpuolellakin. Katkaisijaksi valittiin tähän projektiin ABB:n valmistama Emax-mallin katkaisija, joka kestää jännitettä aina 1000 Volttiin saakka sekä virtaa 2500 ampeeriin asti.

### 5.1.3 Suodattimet

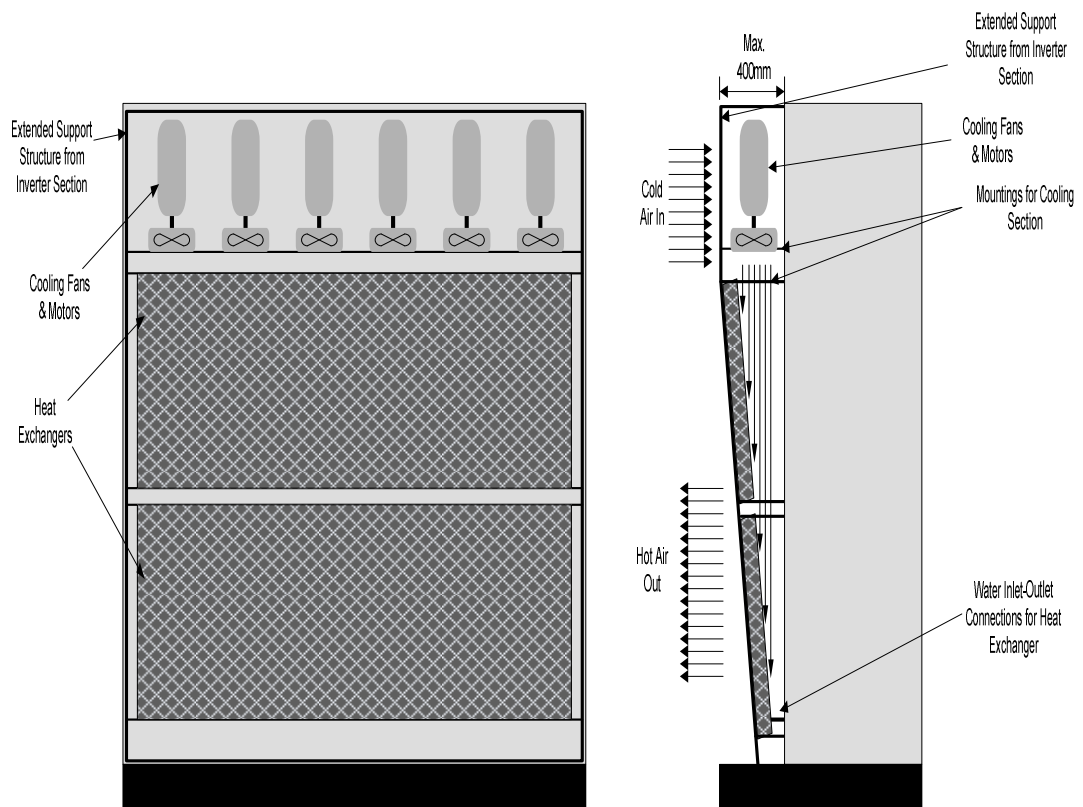
Virtapiirissä käytetään suodattimia, joiden tarkoitus on tasata virtapiikkejä.

Tässä projektissa virrat ovat hyvin korkeita, joten sopivankokoisen suodattimen löytyminen oli haasteellista. Lopulta todettiin parhaaksi vaihtoehdoksi liittää kaksi sopivankokoista suodatinta yhteen rinnankytkennällä, jolloin virran kesto saadaan riittävän suureksi. Tässä tapauksessa tullaan käyttämään kahta 1500 ampeeria kestävästä suodatinta rinnan, jolloin virran kesto on 3000 ampeeria. Tarkoituksena on rakentaa ainakin prototyyppi kaapista tällä ratkaisulla ja mikäli kaappi etenee massatuotantoon neuvotellaan sopivan räätälöidyn suodattimen tilaamisesta, mikäli se on kustannuksiltaan järkevää.

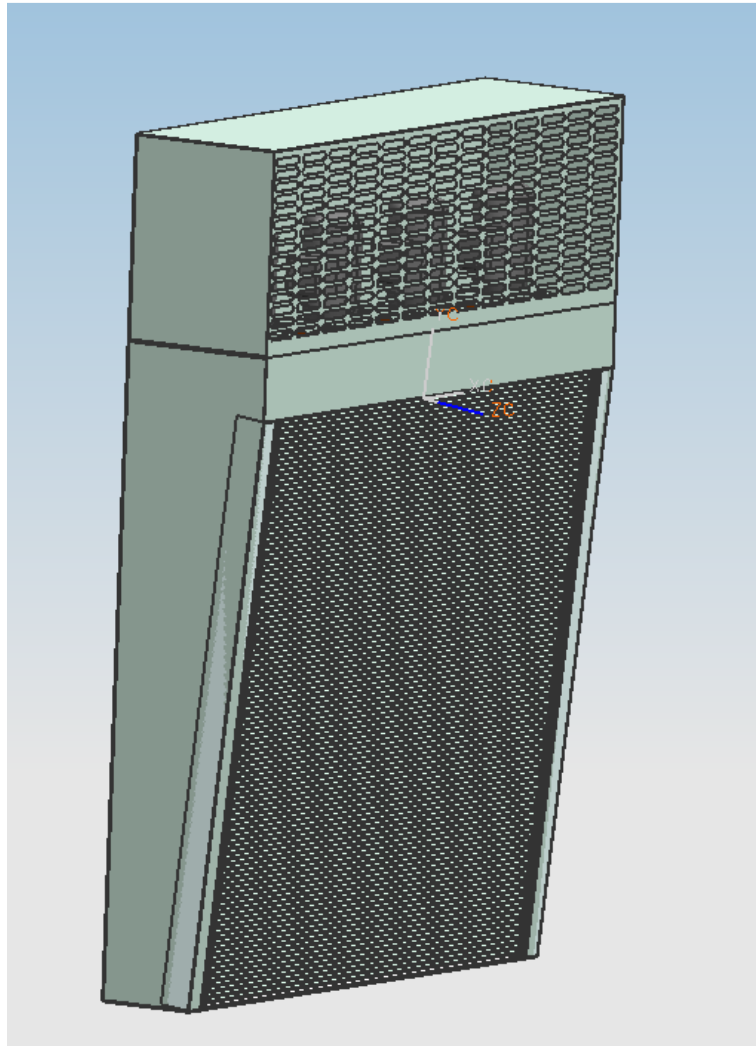
#### **5.1.4 Jäähdytysjärjestelmä**

Olenainen osa tehonmuokkaimen toiminnassa on jäähdytysjärjestelmä, joka takaa komponenttien jäähtymisen ja siten säilyttää vaaditut ominaisuutensa. Peruserämuokkaimissa käytetään kahdenlaisia jäähdytysjärjestelmiä, neste- sekä ilmajäähdytteisiä. Tässä projektissa jäähdytysjärjestelmä suunnitellaan kokonaan itse. Käytännössä se tarkoittaa, että kaapin sisään suunnitellaan tarvittavat nestetulot, joista saadaan nestejäähdytteisille komponenteille, kuten invertterille, tarvittava neste. Tämän lisäksi kaapin sisälle suunnitellaan ilmankierto siten, että komponentit, jotka eivät ole nestejäähdytteisiä, saadaan jäähtymään myös. Kyseessä on siis nesteilma jäähdytys. Riittävä ilmankierto kaappiin saadaan aikaan radiaattoreiden, joiden sisällä kiertää jäähdytysneste, puhaltimien sekä ilmankiertokanavan avulla. Ilmankiertokanavina toimii yleensä väliseinien aukotukset, jotka testivaiheessa katsotaan oikeille paikoille. Tarvittaessa käytetään erillisiä peltisiä kanavia, joilla ilmankierto saadaan ohjattua tarkemmin haluttuun paikkaan. Kaapin ulkopuolelle tulee vielä suunnitella itse jäähdytysyksikkö, joka kierrättää ilmaa ja mahdollista kaapin jäähtymisen. Jäähdytysnesteinä systeemissä käytetään vesi-glykoli seosta.

Ennen jäähdytyskomponenttien valintaa on täytynyt laskea lämpötilahäviöt ilmaan eri komponenteilla sekä itse kaapilla. Huomioon on otettava myös se, miten paljon itse ulkokaappi lämpenee, mikäli laitteisto sijoitetaan aavikolle, jossa aurinko paahtaa kaapin pintaa todella kovalla kuumuudella. Pääkomponenttien lämpöhäviö ilmaan on laskettu olevan noin 4.51 kW.



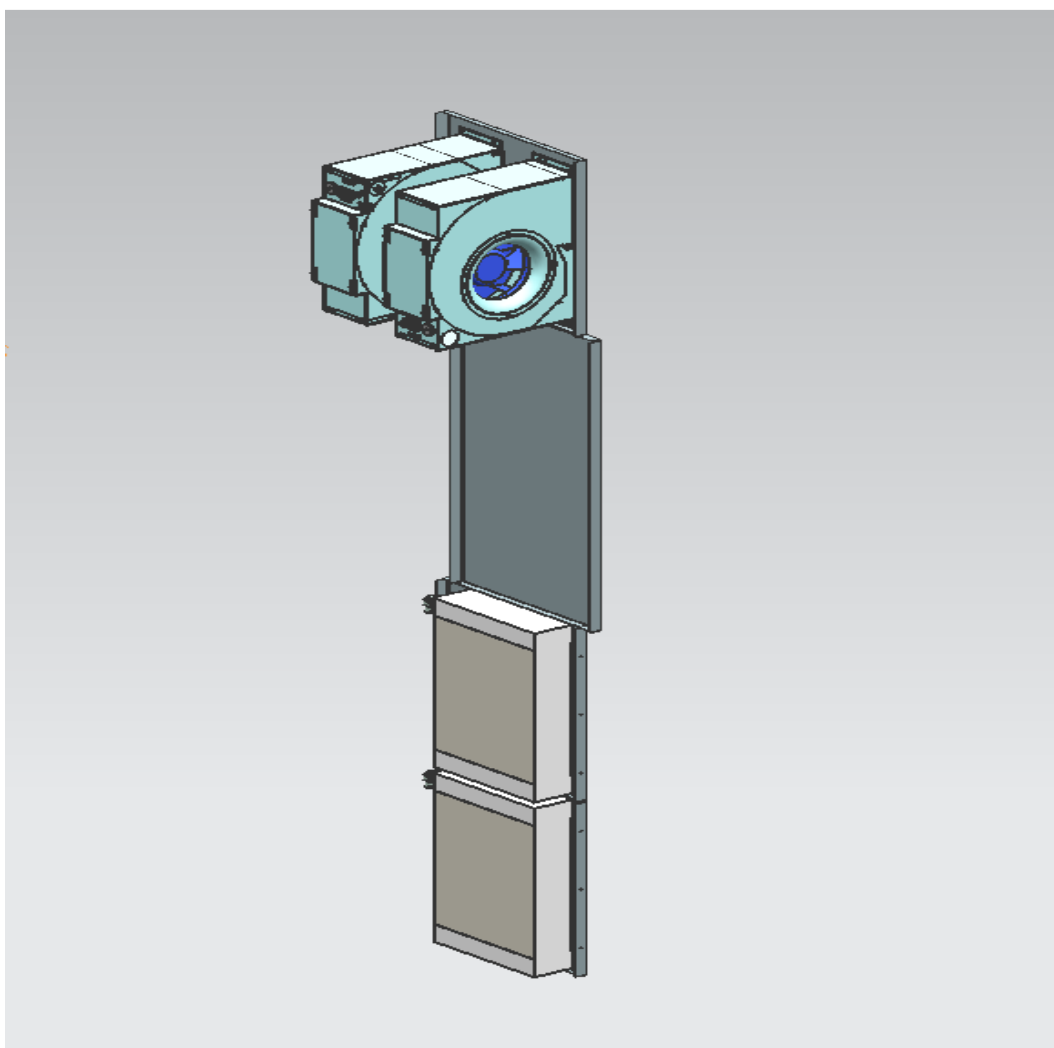
**Kuva 11.** Kaapin ulkoinen radiaattoriyksikkö puhaltimiseen. /9/



**Kuva 12.** Ulkoisen radiaattori yksikön 3D-malli.

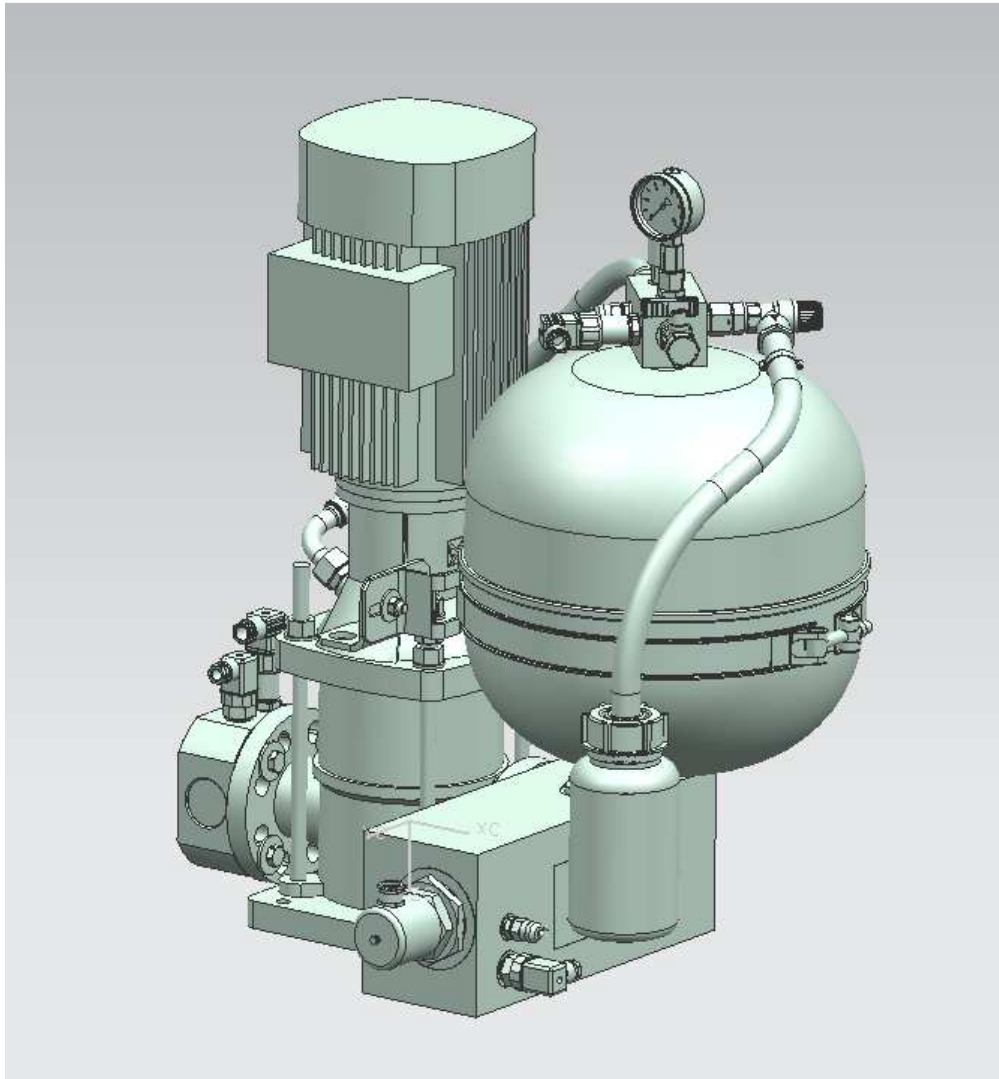
Kylmä ilma jäädyttää radiaattorissa kulkevan nesteen, jonka jälkeen neste menee läpiviennin kautta kaapin sisällä oleviin radiaattoreihin. Näiden radiaattoreiden läpi, puhaltimet puhaltavat kylmän ilman kiertämään kaapin sisälle samalla, kun puhaltimet imevät kaapin sisältä kuumaa ilmaa pois (kuva 13).





**Kuva 13.** Kaapin sisällä olevat radiaattorit ja puhaltimet.

Kaapin sisälle on varattu kaksi kenttää sisäisiä jäähdytyslementtejä varten, toinen on kuvassa 13 näkyville osille ja toinen on kuvan 14 pumppuyksikölle, joka kierrättää jäähdytysnestettä suljetussa systeemissä.



**Kuva 14.** Pumppuyksikön 3D-malli

## 5.2 Pääkomponenttien sijoittelu

Pääkomponenttien sijoittelu kaappiin on varsin ratkaisevaa toimivan kokonaisuuden, asennettavuuden sekä huollettavuuden kannalta. Huomioon otettavia asioita pääkomponenttien sijoittelussa on ensinnäkin isojen komponenttien paikat, minne ne halutaan sekä miten ne kiinnitetään siten, että isojenkin osien käsiteltävyys säilyisi edes jotenkin järkevänä. Sijoiteltaessa komponentteja on otettava huomioon, että esimerkiksi invertterille on järjestettävä nestejäähdytys, joten sen sijoittaminen minne tahansa kaapissa ei ole mahdollista. Kaapin sisälle haluttava ilmankierto vaatii myös, että komponentit eivät tuki

ilmankiertoa miltään osin. Lisäksi sisäistä ilmankiertoa suunniteltaessa on otettava huomioon, että kylmä ilma kiertää koko kaapin joka suunnassa hallitusti, ettei pääse syntymään niin sanottua hullunkiertoa, jossa ilma kiertää koko ajan lyhintä mahdollista reittiä, kuitenkin jäädyttämättä kaikkia haluttuja osia. Vielä huonommassa tapauksessa kylmä ja kuuma ilma menevät sekaisin ja jäädytettävillä komponenteilla puhalletaan kuumaa ilmaa.

Komponenttien sijoittelussa tulee koko ajan olla mielessä se, että komponentit tullaan liittämään toisiinsa kuparikiskojen avulla. Kiskojen mitat määritetään eri maiden standardeissa ja kyseiset mitat puolestaan luovat kiskolle niiden fyysiset ominaisuudet. Esimerkiksi 100 mm leveää kuparikiskoa ei ole mahdollista taittaa sivusuunnassa eli niin sanottu sivuväärä taivutus on mahdoton. Tällaisessa tilanteessa joudutaan joko miettimään komponenttien sijoittelu uudelleen tai käyttämään useampaa kapeampaa kiskoa. Kiskojen välillä tulee aina olla myös standardeista löytyvät ilmavälit, jotka suojaavat niin toisia komponentteja, kuin käyttäjiäkin sähkövirralta. Standardeissa on määritetty myös ryömintävälit. Ryömintäväli on väli, jonka virta kulkee johtimesta kosketuksen avulla tiettyä materiaalia pitkin toiseen. Esimerkiksi tässä projektissa käytetään ulkokaapin läpivienneissä eristimenä silikonia ja tällöin on otettava huomioon, että riittävät ryömintävälit säilyvät napojen välillä.

Tässä projektissa käytetään UL 508C - standardia, joka muun muassa määrittää käytettävien kuparikiskojen mitat. Standardi määrää käytettävän leveyden ja paksuuden aina tietylle virtamäärälle. Tämän lisäksi standardi määrää ottamaan huomioon kiskojen mitoituksessa + 125 %:n ylimitoituksen. Kiskojen mitoitusta koskeva erittäin oleellinen asia on UL-standardin jänniterajat, joiden mukaan yli 600 voltin jännitettä käyttävä laite on keskijännitekoje, jolloin siinä joudutaan soveltamaan eri standardeja. Koska The Switch toimii IEC-standardin mukaan pienjännitekojeiden parissa, on tarkoitus pysyä samassa luokassa myös UL-standardin parissa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että konvertterilta halutaan ulos tietty määrä tehoa, jota ei voida muuttaa tässä vaiheessa jännitteen muuttamiseksi, jolloin ainoa vaihtoehto on nostaa käytettäviä virtoja jännitteen

laskemiseksi. Tästä aiheutuen tehonmuokkaimen DC-puolella virrat nousevat aina 2500 ampeeriin saakka. Tähän lisäksi vielä + 125 %:n ylimitoitus ja puhumme erittäin järeistä kiskoista. Kiskojen mitoitus määräytyy niiden poikkipinta-alan mukaan. Tarvittava poikkipinta-ala lasketaan seuraavasti.

$$A = \frac{I}{x} \quad (1)$$

Kaavassa  $I$  on kiskojen käyttämä virta eli tässä tapauksessa,

$$I = 2500A \times 125\% = 3125A \quad (2)$$

Kaavan 1 arvo  $x$  tulee UL standardista ja vielä tarkemmin NEC:stä ( National Electrical Code). Tässä tapauksessa  $x = 1,55 A/mm^2$ .

Täten itse lasku menee seuraavasti:

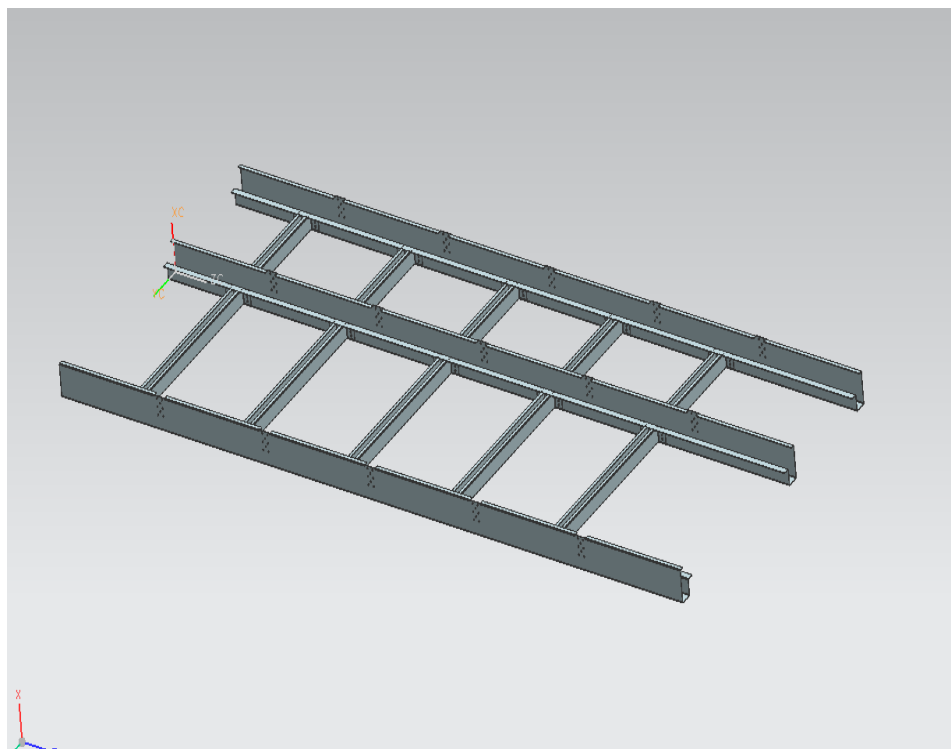
$$A = \frac{3125A}{1,55 \frac{A}{mm^2}} \approx 2016mm^2 \quad (3)$$

UL-standardin mukaan mitoituksissa ja etenkin kiskojen mitoituksissa on siis paljon enemmän ilmaa kuin mitä eurooppalaisissa standardeissa on totuttu näkemään. Nyrkkisääntönä voidaankin näiden kahden välillä pitää 10 mm  $\rightarrow$  ½ tuumaa. Eli mitta, joka euroopan mitoituksissa on 10 mm on amerikan vastaavassa kasvanut jo puoleen tuumaan (12,7mm).

Kustannusten säästämiseksi on varsin tärkeää, sijoittelua suunniteltaessa, myös miettiä tulevaa käyttöä eli tarvitaanko asennuksessa paljon tilaa ympärillä, tarvitseeko komponentin huoltaminen erikoisjärjestelyjä, tilaa tms.

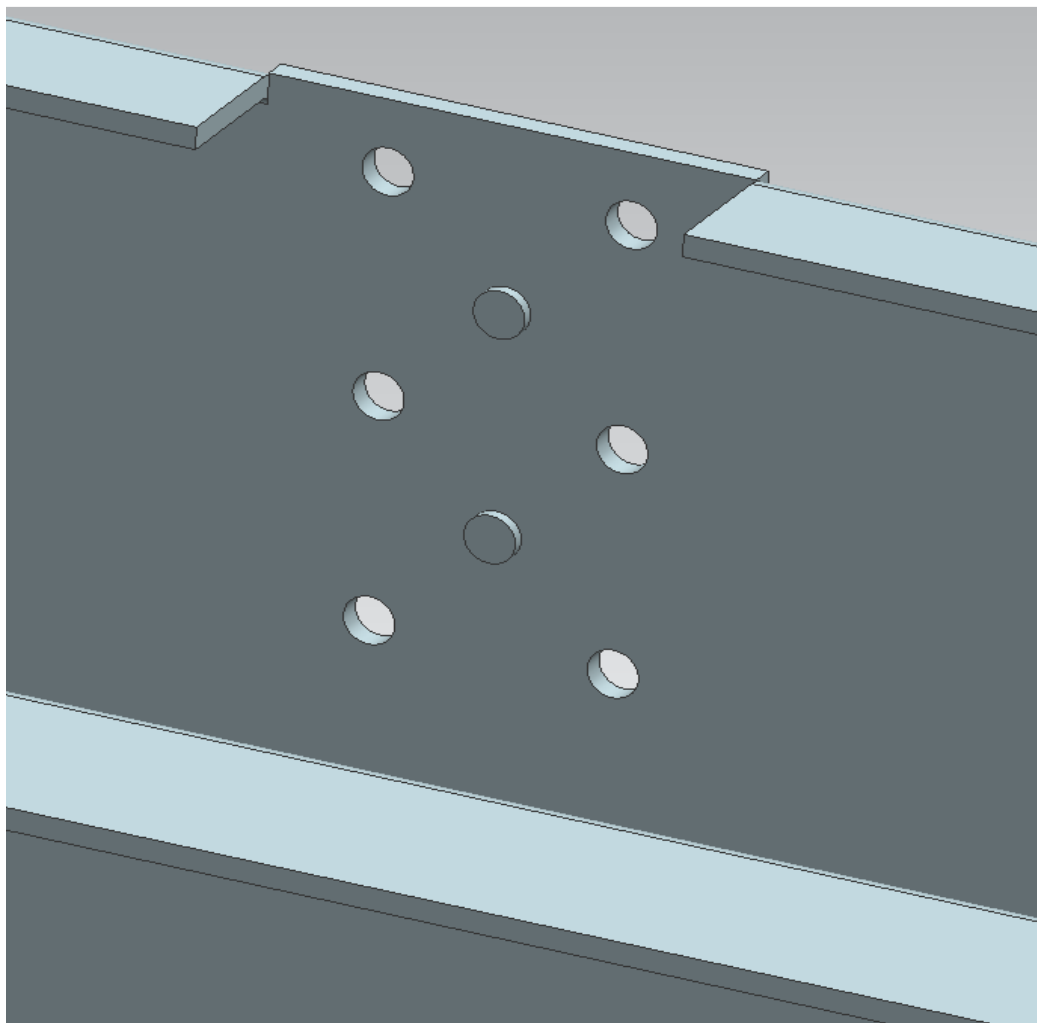
## 6 ULKOMEKANIikka

Johtuen tämän projektin äärimmäisen haastavista vaatimuksista, projektia lähdettiin käsittelemään kolmena eri osakokonaisuutena, jotka myöhemmin vain liitettäisiin yhteen. Ensimmäinen osakokonaisuus on ulkokaappi sekä runko, toinen sisämekaniikka ja kolmas jäähdytysyksikkö.



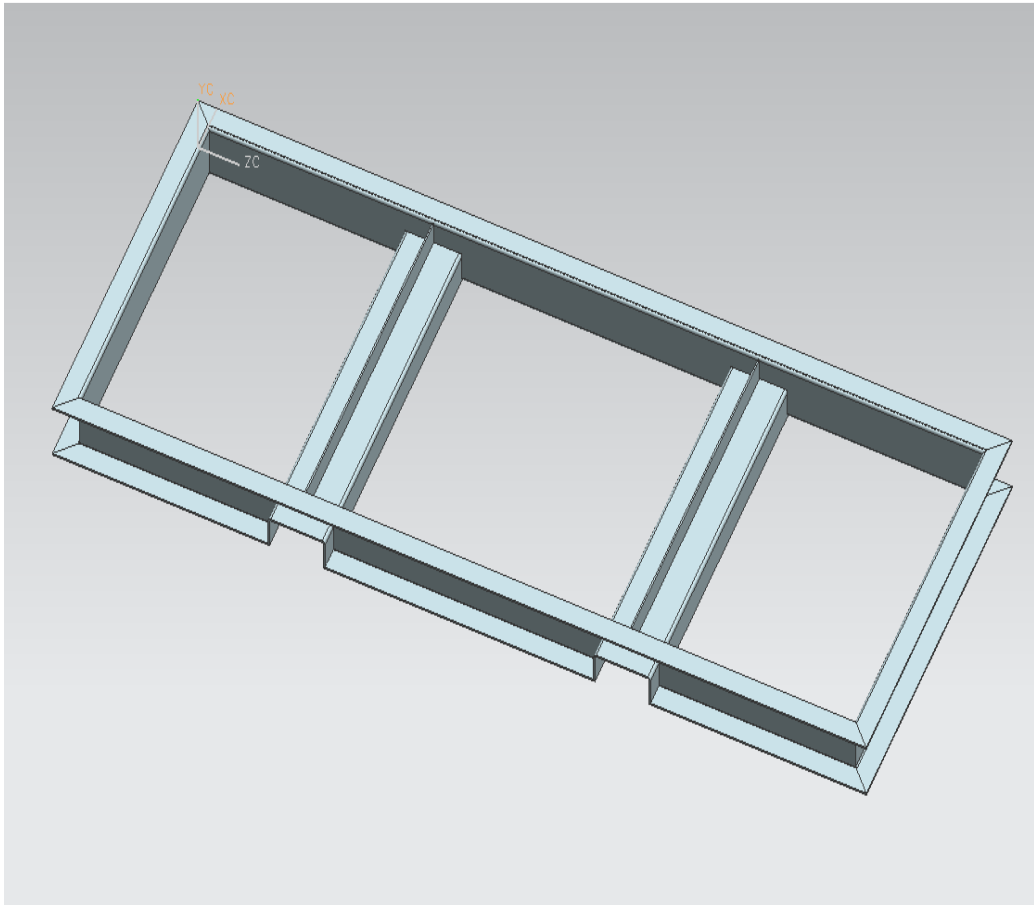
**Kuva 15.** Pulttirungon 3D-malli.

Kaikki liitokset tehdään pultein sekä tappiliitoksin, joissa toiseen palkkiin pursotetaan pieni tappi ja toiseen vastaavaan kohtaan pienellä välyksellä reikä. Tämä on varsin tehokkaasti leikkausvoimia poistava liitos (kuva 16).



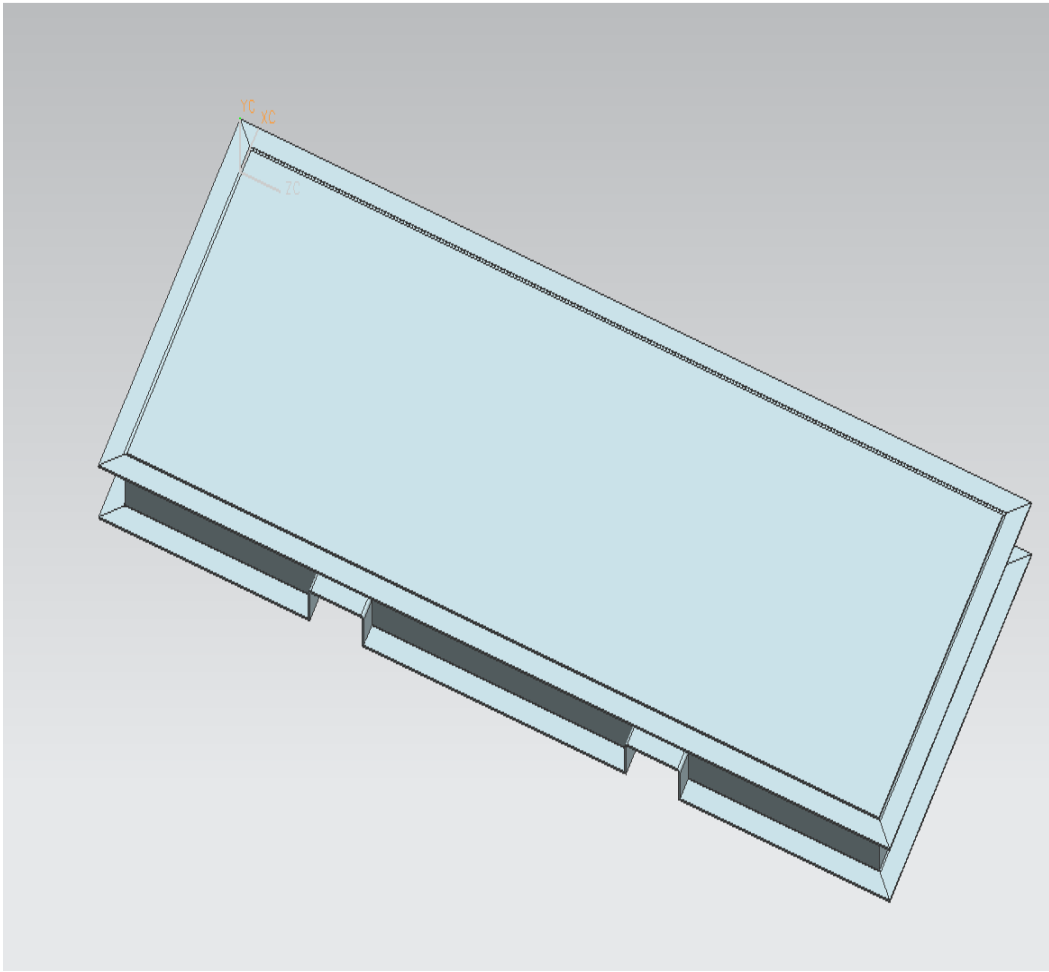
**Kuva 16.** Pultatun rungon liitoskohta. Reiät pultteja varten sekä tapit leikkausvoimien poistamiseksi.

Toiseksi vaihtoehdoksi lähdettiin suunnittelemaan hitsattua rakennetta. Hitsatun rakenteen materiaaliksi valittiin jälleen C-profiilipalkki sen vuoksi, että se on helppo kiinnittää perustuksiin, esimerkiksi pultilla profiilin sisältä. Runkona pohjassa kiertää profiilipalkit, jotka on katkaistu jiiriin, jolloin ne on helpompi hitsata toisiinsa. Pohjan rungon pitkille sivuille leikattiin kaksi aukkoa kullekin sivulle, joista työnnettiin sisään kaksi C-palkkia suuaukko alaspäin. Tämä sen takia, että se jäykistää pohjaa entisestään ja samalla mahdollistaa trukkikuljetuksen. Näiden trukkialkujen päälle kiinnitetään kaksi pienempää profiilipalkkia, jotka on mitoitettu siten, että niiden yläpinta tulee pohjan muun rungon tasolle, jolloin ne tukevat runkoon kiinnitettävää lattiaa (kuva 17).



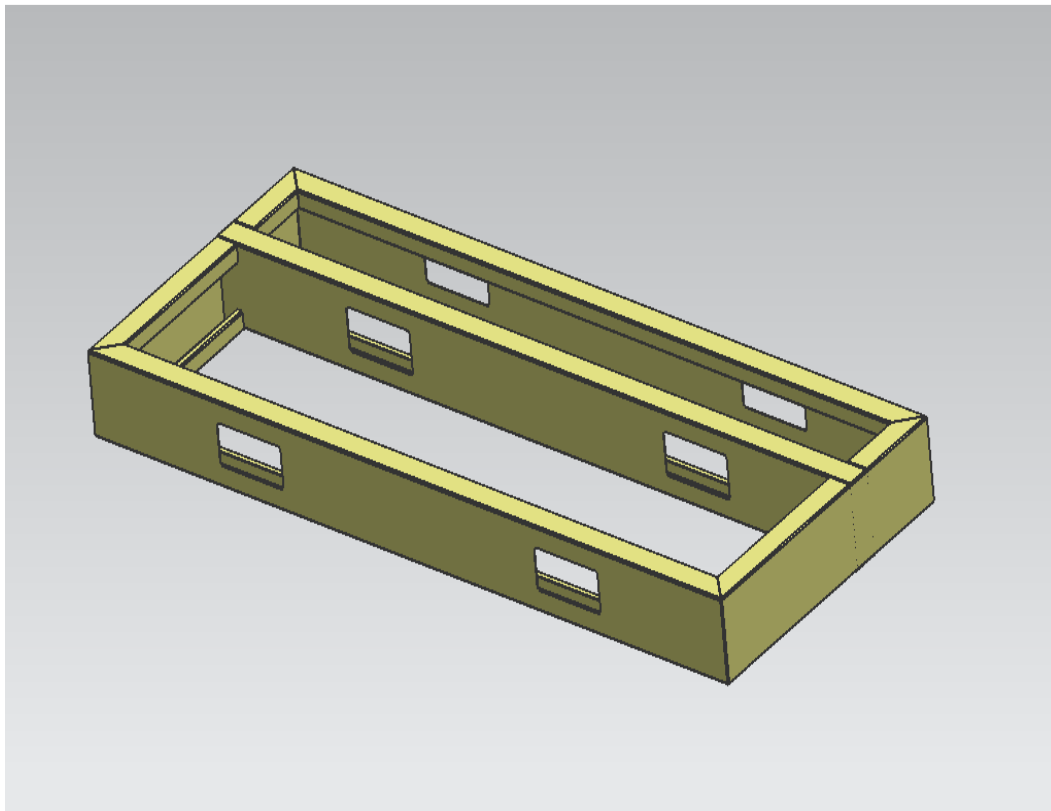
**Kuva 17.** Hitsattu pohjan runko ilman lattiaa.

Lattia asennetaan siten, että se ei tule reunalla olevien palkkien päälle, koska sinkityksen tehokkuus kärsii päällekkäisistä pinnoista (kuva 18).

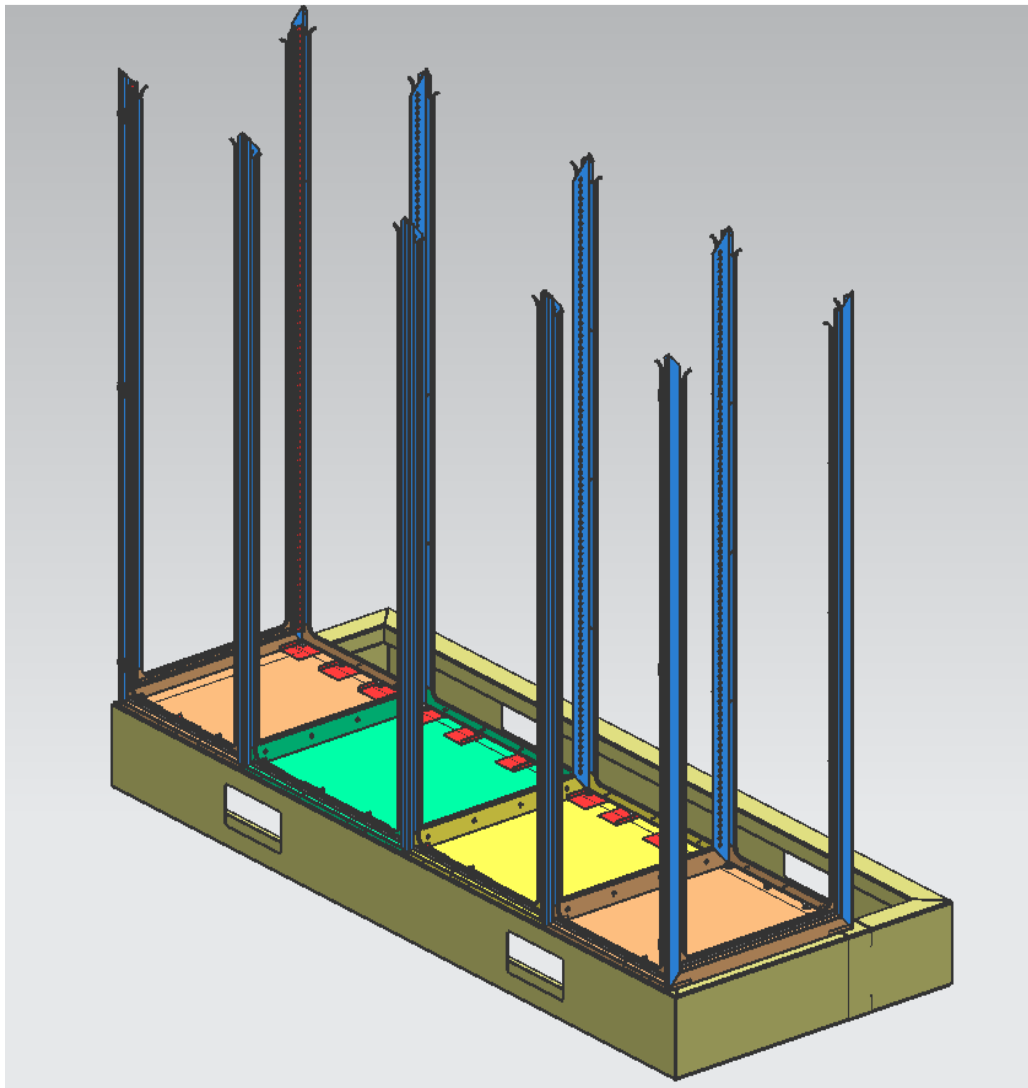


**Kuva 18.** Lattia asennettuna paikalleen.





**Kuva 19.** Steran suunnitteleman ulkokaapin pohjarakenne.

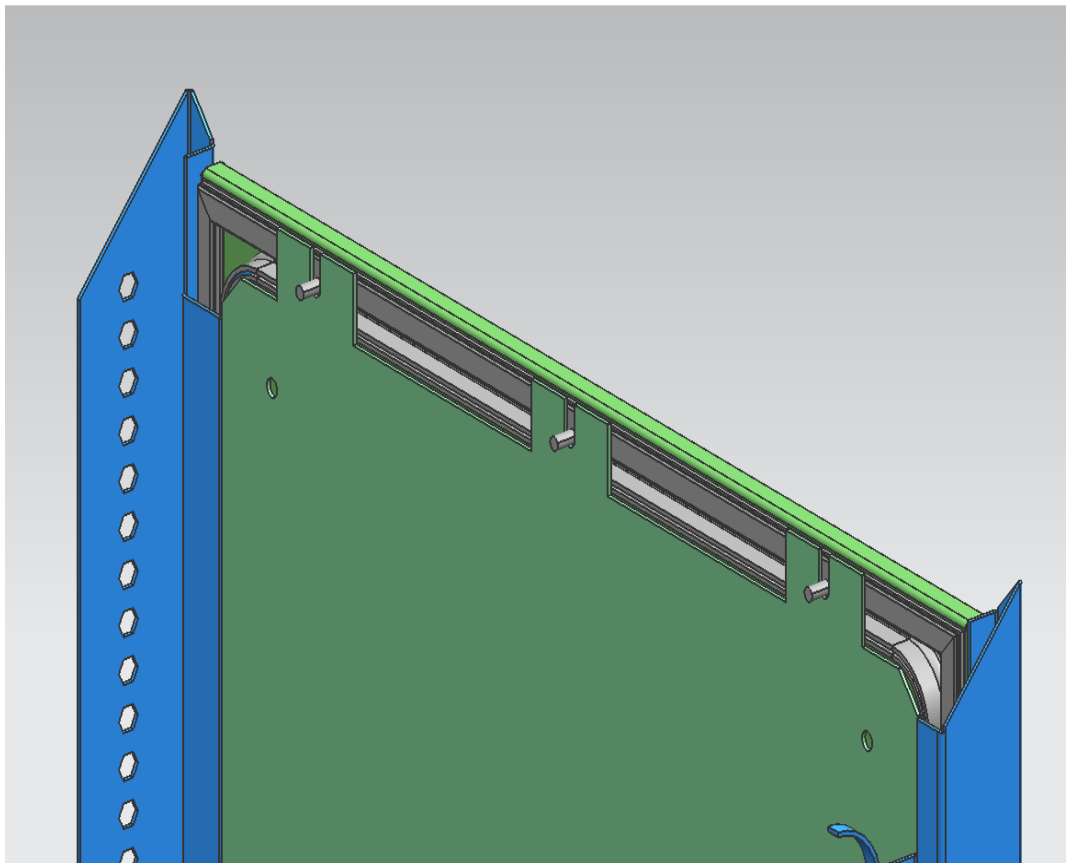


**Kuva 20.** Steran suunnitteleman ulkokaapin runkorakenne.

Ulkokaapin rakenne tulee olemaan kolminkertainen tiiveyden saavuttamiseksi; ulkokuori, tiiviste sekä sisäkuori. Kuoret ovat peltiä, jotka kiinnitetään sisäpuolelta, sabotaasin ehkäisemiseksi ja tiivistyksen helpottamiseksi, niin paljon kuin mahdollista. Kaksi keskimmäistä osastointilevyä joudutaan asennuksen mahdollistamiseksi kiinnittämään kuitenkin eri tavalla.

Ulkokaapin takaseiniin on suunniteltu pienet hahlot (Kuva 21), joiden tarkoitus on vapauttaa takaseinät paikoiltaan valokaaren tai räjähdysten sattuessa. Näin saadaan kaapin sisältä paine purettua hallitusti ulos, mikä lisää turvallisuutta niin

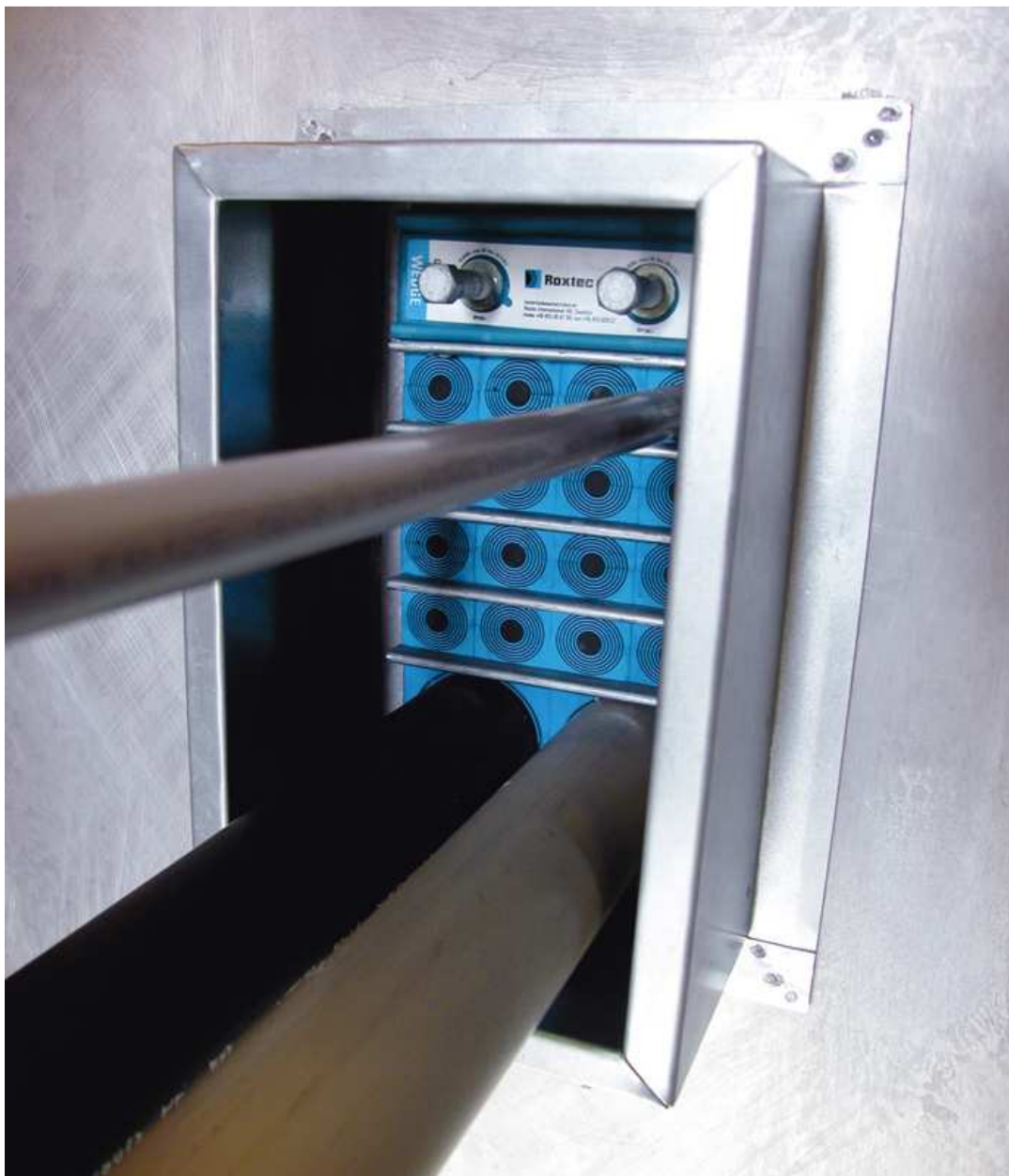
testauksessa kuin itse saitillakin. Mainittakoon, että räjähdyskevennykset ovat edellytetyt myöskin UL- standardin toimesta.



**Kuva 21.** Takaseinän räjähdyskevennykset kaapin sisältäpäin kuvattuna.

Ulkokaapin tiiviiseen osaan tulee läpiviennit kiskoille kuusi kappaletta sekä jäähdytyksen letkuille, kaksi kappaletta (sisään ja ulos). Kiskojen läpiviennit ovat näistä haastavimmat, koska IP 65 vaatii, että vettä ei saa kaappiin sisälle päästä. Haastavan tästä tekee se, että kiskojen valmistamisessa voi tapahtua prosessin aikana laadun vaihtelua, joka puolestaan tarkoittaa sitä, että ei voida täysin varmasti sanoa, että jokainen kisko on samankokoinen. Tämä tekee mahdottomaksi erilaisten kumitiivisteiden yms. muotoon tehtyjen tiivisteiden käytön. Sen sijaan ajatus onkin käyttää erillistä boxia, joka rakennetaan 100 x 20 kuparikiskon ympärille. Boxi itsessään on muovia ja se on täytetty silikonilla. Näin se on varmasti tiivis kaikissa olosuhteissa. Silikoni kestää lämpötilavaihtelut aina 170 asteeseen saakka, jolloin se soveltuu tähän käyttötarkoitukseen. Ainut

huono puoli tässä laatikossa on se, että se on kertakäyttöinen. Kun laatikkoon kisko kerran asennetaan sisälle, ei sitä sieltä pois saada ilman, että jotain rikotaan. Tämä tarkoittaa sitä, että tämä laatikko, jonka sisällä oleva kisko tulee laatikon ulkopuolelle, kiinnitetään kaapin takaseinään siten, että laatikon sisällä olevan kiskon toinen pää tulee kaapin sisälle ja toinen jää ulkopuolelle. Tämän jälkeen kytkennät tehdään näihin kiskon päihin. Näin toimittaessa tiiveys säilyy ja kaikki kiskot voidaan irrottaa tarvittaessa. Letkujen läpivientien tiivistys onkin yksinkertaisempi, koska letkujen muoto on paljon helpompi tiivistää ja letkut ovat paljon todennäköisemmin aina saman kokoisia. Tähän on tarkoitus käyttää Roxtecin valmiita läpivientejä. Näissä läpivienneissä on mahdollisuus säätää tiivistettävän reiän kokoa ja kiristää se jälkeinpäin tiiviiksi. Roxtec on vuonna 1990 perustettu ruotsalainen yhtiö. Heidän erikoisosaamistaan on tiivistysyksiköt, joissa on irrotettavat kalvot, joilla mahdollistetaan erikokoisten kaapeleiden käyttö. Tämä mahdollistaa suunnittelijoiden ja asentajien työskentelyn ilman, että heidän täytyy tietää kaapeleiden tarkkoja halkaisijoita. /6/



**Kuva 22.** Roxtec asennettuna paikoilleen. Roxtecin ideana on mahdollistaa eri suuruisten kaapeleiden läpivienti samasta rungosta. Kuvan yläosassa palojen kiristyspala. /5/

## 7 SISÄMEKANIikka

Sisämekaniikan suunnittelussa on muutama erittäin oleellinen asia joiden avulla suunnittelu saadaan aloitettua. Ensimmäinen on tuoteluettelo, joista selviää mitä osia käytetään. Tuoteluettelon avulla laitevalmistajilta tilataan 3D-mallit komponenteista, jolloin niitä ei tarvitse itse mallintaa piirustuksista. Tämä säästää aikaa äärettömän paljon, koska jokaisella toimittajalla kuitenkin on olemassa 3D-mallit komponenteistaan ja nykytekniikan avulla STEP- tiedostomuodossa lähes kaikki CAD- ohjelmistot saadaan keskustelemaan toistensa kanssa.

Seuraavat vaadittavat asiat suunnittelun aloittamiseksi on kytkentäkaavio sekä rungon mitat. Asiakkaasta riippuen tässä vaiheessa voidaan mahdollisesti esittää suunnittelijoille myös erillinen hahmotelma, jossa on toiveet eri pääkomponenttien sijoittelusta. Kytkentäkaavio kertoo suunnittelijalle nimensä mukaisesti miten eri komponentit kytketään. Tämän tiedon jälkeen voidaan komponentteja ryhtyä sijoittelemaan rungon sisälle. Tässä vaiheessa on äärimmäisen tärkeää, että rungon mitat saadaan lyötyä lukkoon. Kun komponentit ovat paikallaan ja aletaan kytkemään niitä toisiinsa kuparikiskojen avulla, työn määrää moninkertaistuu, mikäli ei voida kiinnittää jotain mittaa pysyväksi. Kylmä tosiasia mekaniikkasuunnittelussa kun on, että kaikki vaikuttaa kaikkeen.

Mekaniikkasuunnittelun alkuvaiheessa on hyvä ottaa huomioon asennettavuus- sekä huollettavuuskysymykset eli toisin sanoen asetella komponentit järkevasti kaapin sisälle. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että raskaimmat komponentit sijoitetaan mahdollisimman alas. Tämä sääntö perustuu siihen, että raskaiden komponenttien asennuksessa tarvitaan mahdollisimman vähän erikoisnostotyökaluja. Huolettaessa kaappia saitilla, ei tarvitse irrottaa painavia komponentteja vaarallisilta korkeuksilta eikä painavan komponentin irrotessa, se ei tuhoa alleen jääviä komponentteja. Tämä sääntö vielä vahvistuu tässä projektissa, koska kaapin ja komponenttien tulee kestää määnjäristyksiä.

Kaapin sisällä liitokset tehdään aina kuparikiskoilla, joissa on 8 µm:in tinapinnoite. Kiskojen mitat määräytyvät eri maissa eri standardien mukaan.



Edellä olevan taulukon mukaan ilmavälinä pyritään käyttämään vähintään 12.7 millimetriä.

Tässä projektissa, kuten tuulivoimaprojekteissakin kaappi on jaettu väliseinillä sopivan kokoisiin kenttiin joissa eri komponentit ovat runkoon kiinnitettyinä. Väliseinät ovat hyvin nimelliset seinät, joten niitä ei käytetä kuin korkeintaan pienten komponenttien kiinnitykseen. Protovaiheessa voidaan väliseininä käyttää, esimerkiksi kokonaan rei'itettyä peltilevyä, josta voidaan helposti leikata sopivan suuruisia reikiä asennuksen mahdollistamiseksi tai helpottamiseksi. Tällaiseen reikälevyyn saadaan tarvittaessa kiinnitettyä helposti tarvittavat pikku komponentit ja sen pohjalta myöhemmin vasta suunnitellaan oikeat väliseinät reikineen ja läpivienteineen.

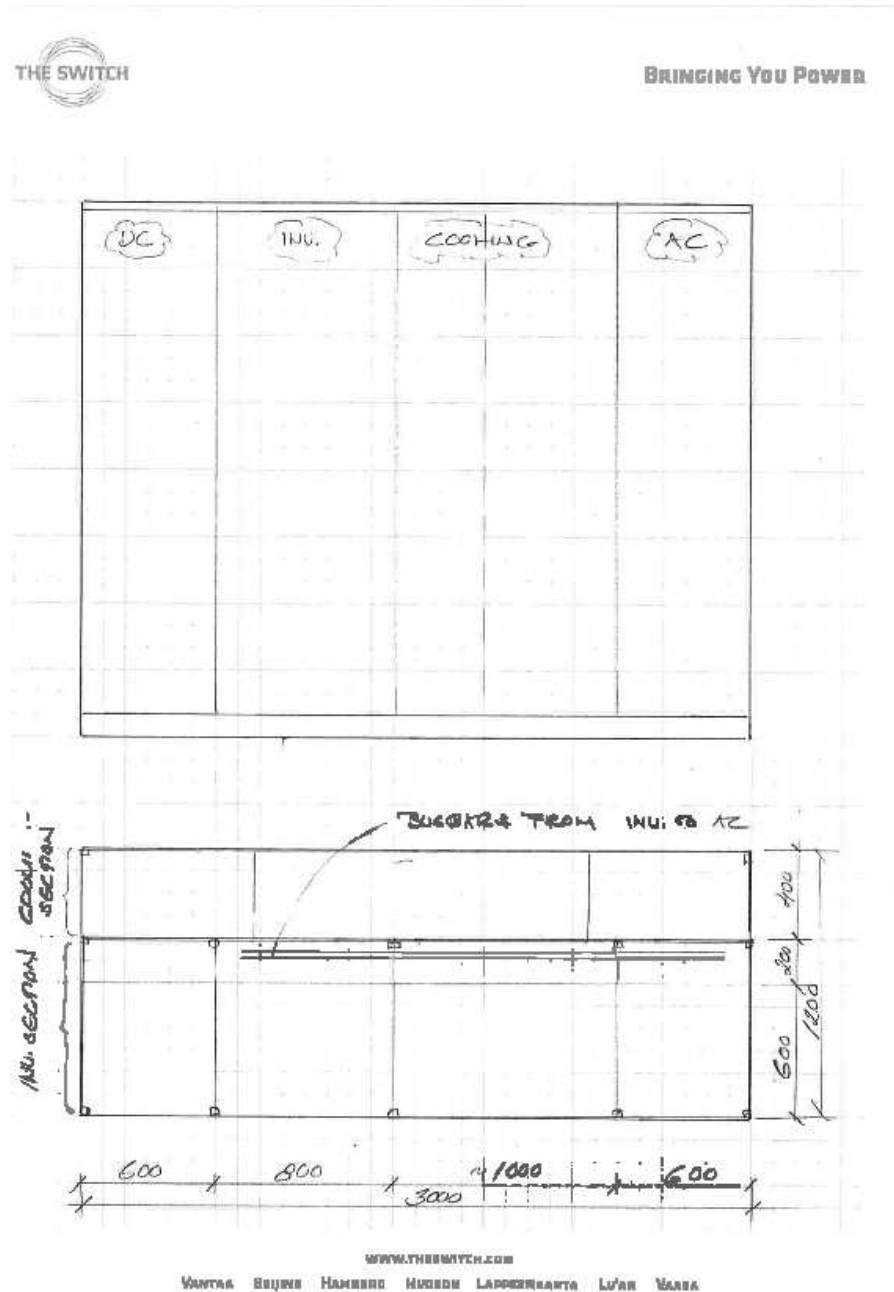
Lopullisiin väliseiniin tehdään tarvittavat reiät tukieristimille, joiden läpi tarvittavat kiskot menevät kentistä toisiin. Jäähdytyksessä tarvittava ilmankierto kentästä toiseen tapahtuu erillisen seinien rei'ityksen avulla, jolloin radiaattoreilta ilma pääsee kiertämään kaapin joka osaan jäähdyttäen komponentit.

Tämän projektin kentät on jaettu seuraavasti: DC-kenttä, invertterikenttä, sisäjäähdytyskenttä, nestejäähdytyskenttä sekä AC-kenttä (Kuva 23). Suurimpana erona aikaisempiin The Switchin tekemiin konverttereihin on nestejäähdytyskenttä. Tuulivoimasovelluksissa normaali käytäntö on ollut, että asiakas hoitaa tarvittavat laitteistot ja liittynät, että neste saadaan kaappiin tarvittavilla virtauksilla. Tässä projektissa kyseinen asia on toisin ja kaikki suunniteltiin itse. Käytännössä asiakkaalle halutaan tarjota valmista kokonaisuutta asennettavaksi.

Kaapin osastointijärjestyksessä vasemmalta oikealle on AC-kenttä, invertterikenttä, jäähdytyskenttä, AC-kenttä. Näistä kentistä suurin on invertterikenttä, koska invertterin mittoja emme voi muuttaa. Jotta saadaan halutut tehot irti inverttereista tarvitaan kolme taajuusmuokkainta. Samaan kenttään sijoittaminen helpottaa huomattavasti kytkemistä ja jäähdytystä. Ulkokaapin valmistajan, Steran, tuotevalikoiman vuoksi ulkokaappi kasataan neljästä



erillisestä osastosta puttiliitoksiin ja lopuksi jäähdytysosasto jaetaan kahdeksi osastoksi väliseinällä, jolloin saadaan ilmankierto halutunlaiseksi.



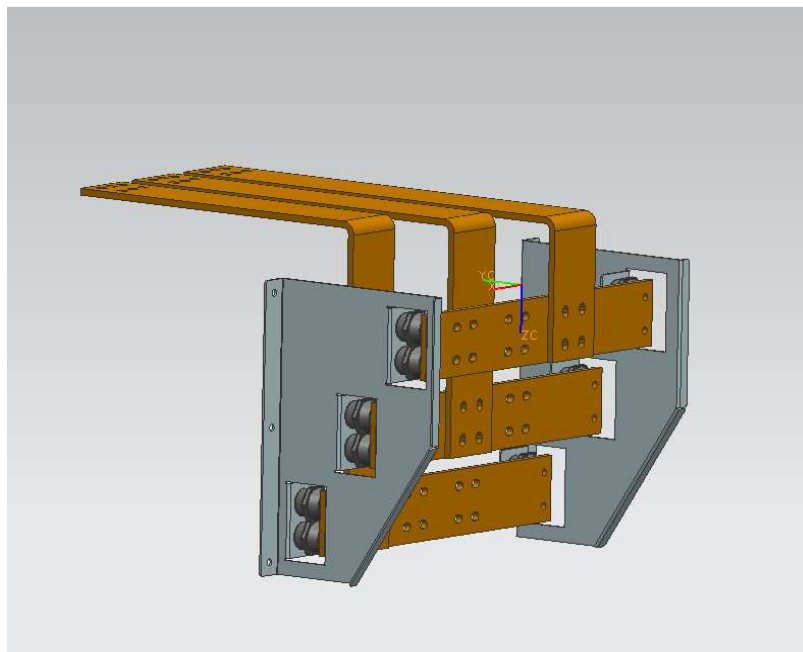
**Kuva 23.** Osastointihahmotelma kaapin edestä ja kaapin päältä.

Kiskot joudutaan viemään väliseinien ja kytkentämoduulien vuoksi myös takaseinän läpi. Jotta kiskot saadaan kiinnitettyä tukevasti, käytetään erillisiä läpivientieristimiä. Niiden tehtävä on tukea kiskoja, jotta vältetään mahdollisten

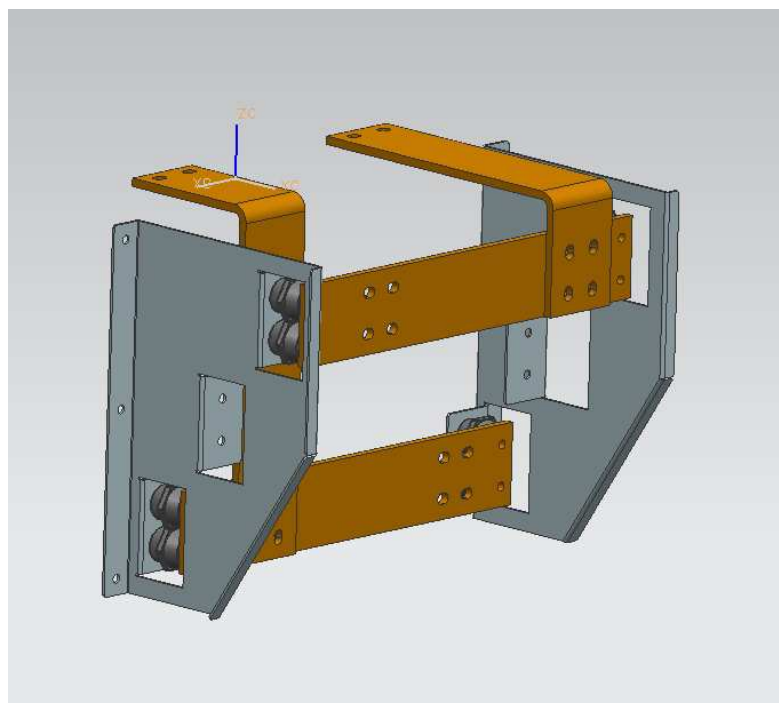
tärinöiden aiheuttamat kiskojen irtoamiset ja tärähtelyt ja niistä aiheutuvat osumat seiniin, toisiin kiskoisiin ja muihin komponentteihin. Toinen läpivientieristimen tehtävä on nimensä mukaisesti eristää kiskot seinistä. Tässä projektissa käytetään kahdenlaisia läpivientieristimiä. Tämä sen vuoksi, että väliseinissä ei tiiveys ole niin tärkeä, kuin ulkoseinissä. Sen sijaan erittäin tärkeä asia väliseinien läpivientieristimien valinnassa on asennettavuus. Asennettavuus on tärkeää sen vuoksi, että ulkokaapin tulee olla erittäin tiivis. Mitä enemmän avattavia luokkuja ja ovia kaapissa on sitä vaikeampaa kaapin tiivistäminen on. Samalla tulee ottaa huomioon mahdollinen sabotaasin vaara, mikä tietää käytännössä näissä olosuhteissa kaapin mekaniikan tuhoa. Näiden asioiden takia suunnitteluvaiheessa on otettava huomioon, että ne paikat, jotka kerran suljetaan pysyy kiinni. Tämä pätee niin liitoksiin, seiniin kuin kaapin sisällä oleviin komponentteihinkin.

Tämän mahdollistamiseksi, useita keskusteluja on käyty ulkokaapin valmistajan kanssa mahdollisuudesta ruuvata kaapin ulkoseinät kiinni sisältäpäin. Tällöin kaapin ulkopuolella ei ole mitään ylimääräisiä reikiä eikä siten myöskään ylimääräisiä ruuveja, jotka houkuttelisivat ulkopuolisia niitä availemaan. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että väliseinät tulee olla paikallaan ennen kuin ulkoseinät laitetaan kiinni ja ulkoseinät puolestaan tulee olla kiinni ennen pääkomponenttien kiinnittämistä. Haasteita asennettavuuden kanssa siis tulee rutkasti. Näitä haasteita pyritään pienentämään valitsemalla sellainen läpivientieristin, jossa seinään tulee ylimitoitettu reikä, johon myöhemmin kiinnitetään esimerkiksi kaksiosainen pleksi, joka kiinnitetään ruuveilla, kiristämään ja tukemaan kiskot.

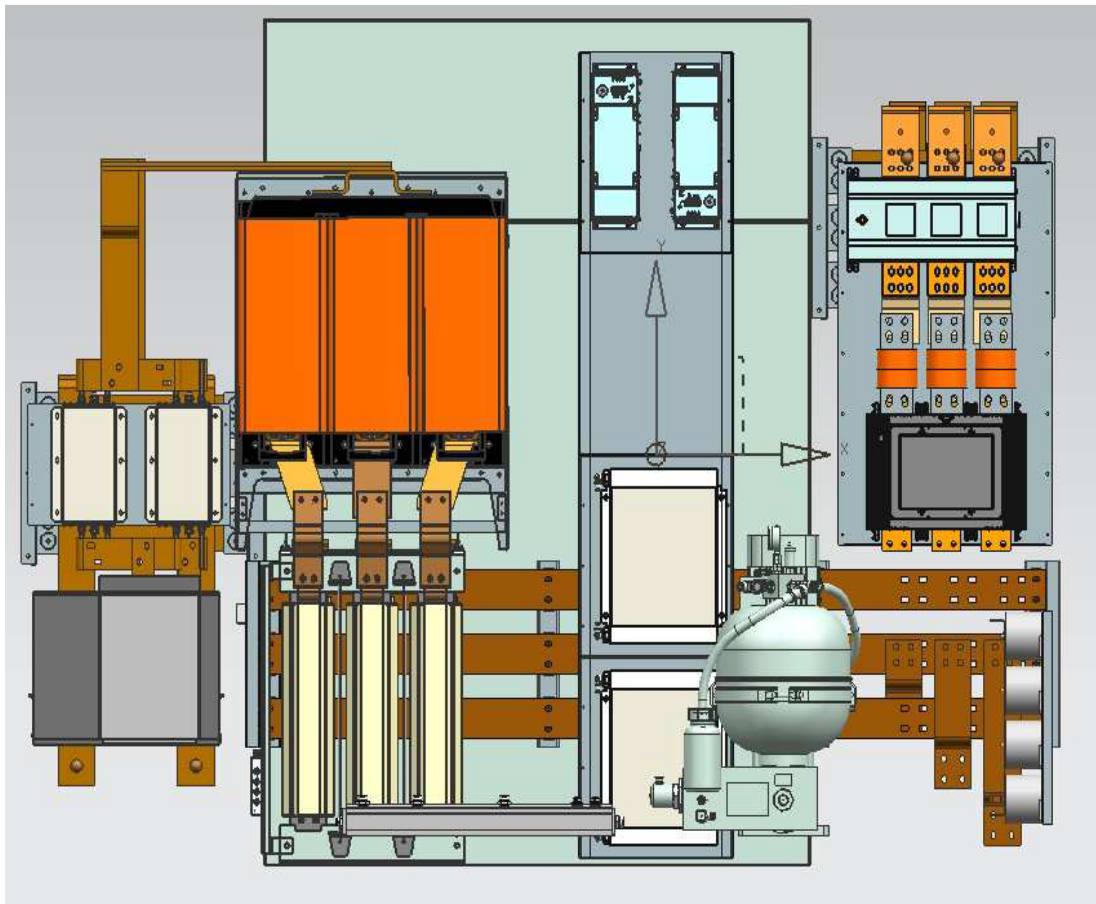
Liitynnät kaappeihin tulee alakautta ja koska UL-standardi vaatii, että liityntöihin pitää päästä erikseen käsiksi, on niille varattu omat tilansa kaapin takaosassa, jäähdytysyksikön molemmilla puolilla. Minkä tahansa oven ollessa auki kaapille ei ole olemassa IP luokitusta. KytKentämoduulit suunniteltiin siten, että kahden taivutellun pellin väliin kiinnitetään tukieristimien avulla tarvittavat kiskot, joihin varataan paikat niin kaapin sisälle lähteville kiskoille kuin sähköverkkoon meneville kaapeleille (AC-kenttä Kuva 24 ja DC-kenttä Kuva 25).



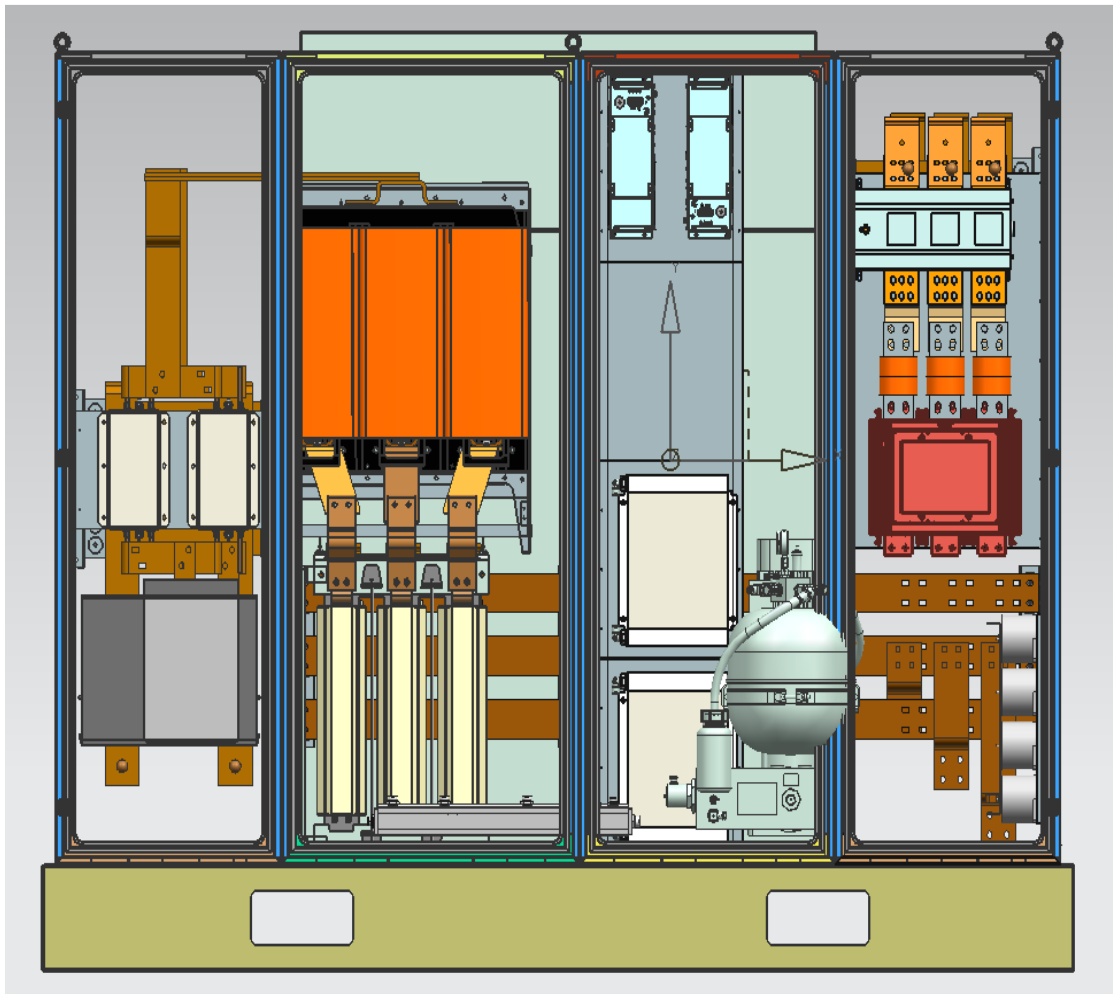
**Kuva 24.** AC-kentän liityntämoduuli. Moduuli kiinnitetään seinään ja kaapeliliitännät tulevat alhaalta poikki kiskoihin. Toiset kiskot liittyvät kaapin sisämekaniikkaan.



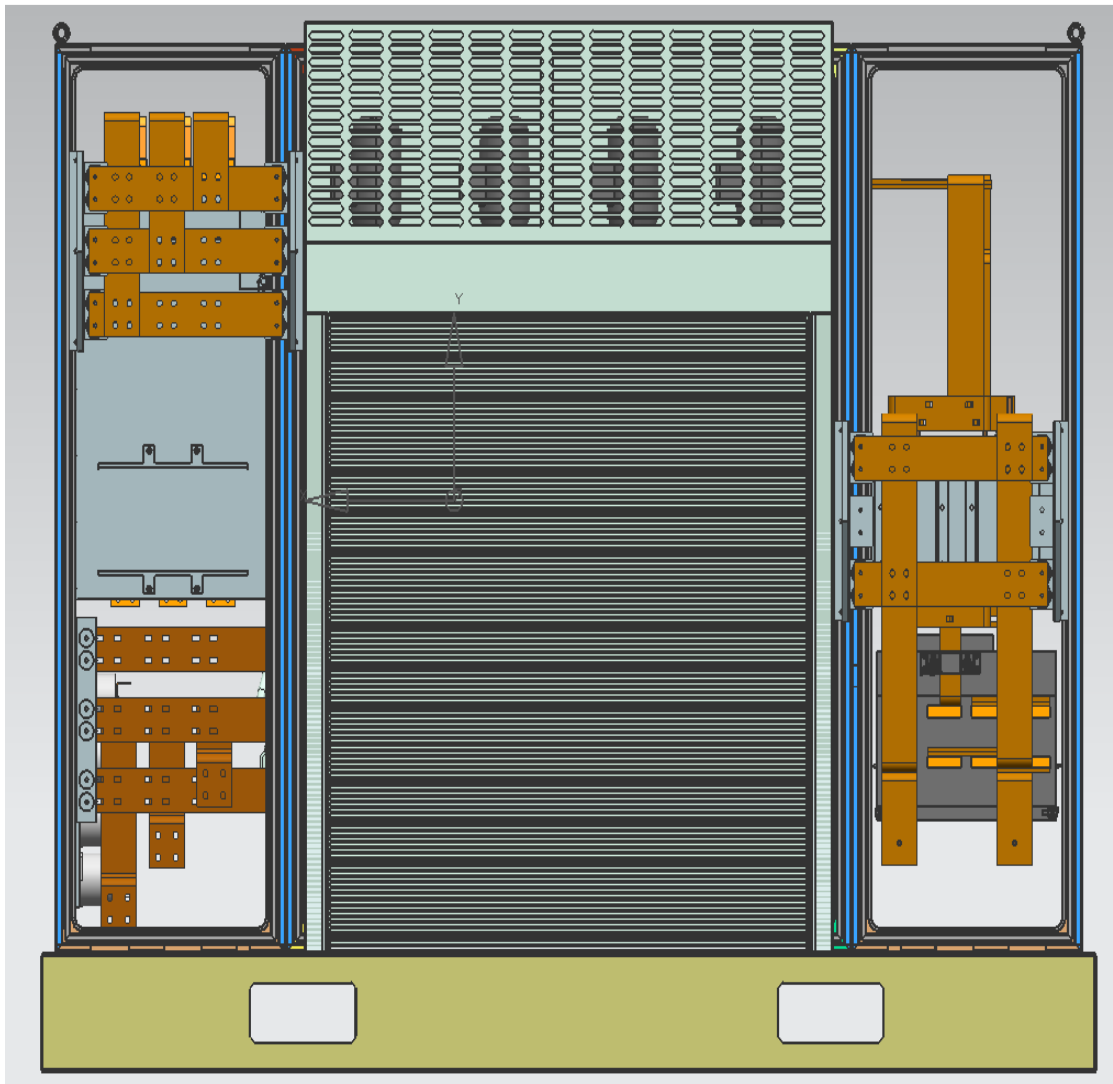
**Kuva 25.** DC-kentän liityntämoduuli. Periaatteeltaan samanlainen kuin AC-puolen vastaava.



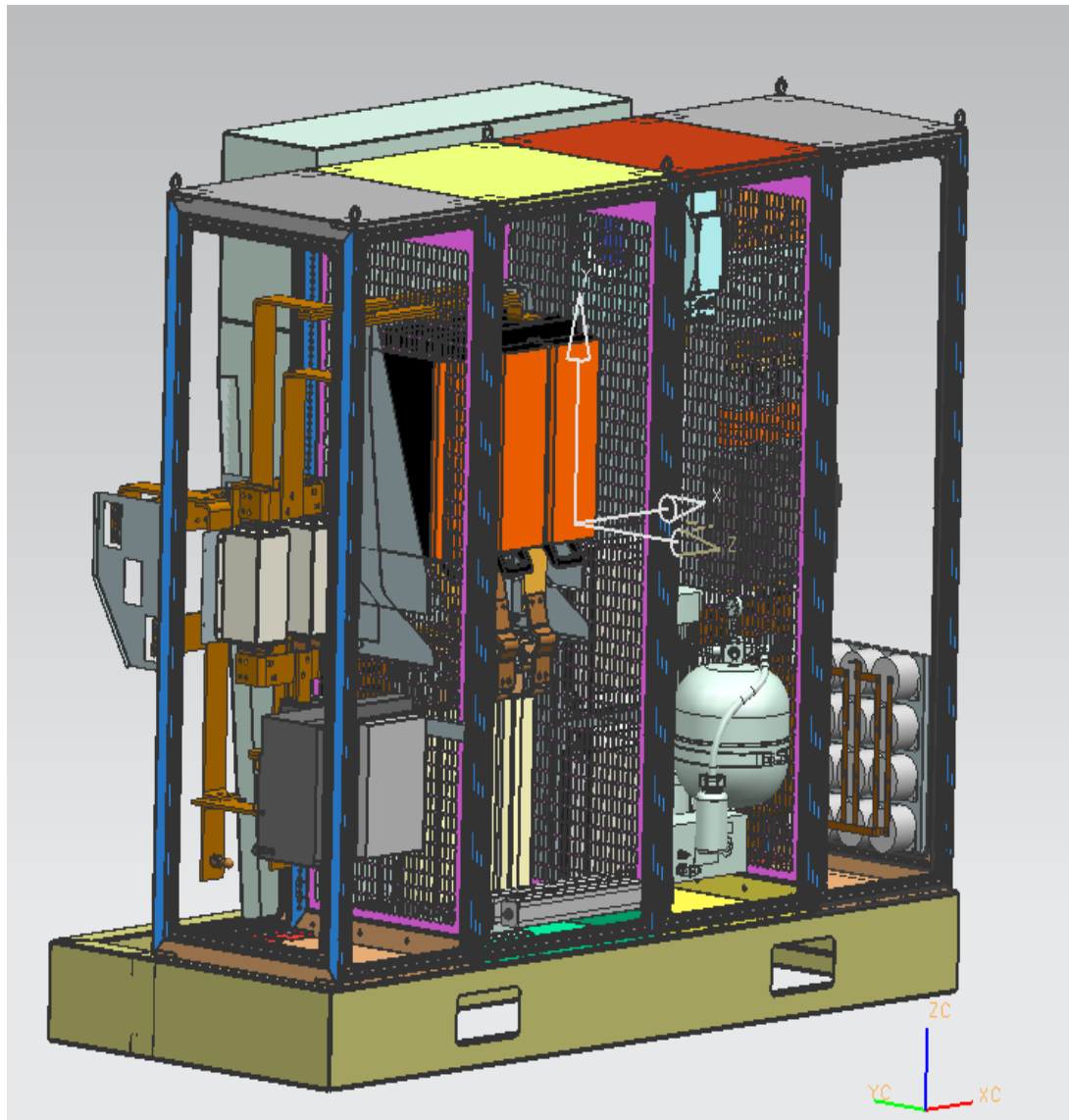
**Kuva 26.** Sisämekaniikka. Kuvassa paikoillaan kaikki pääkomponentit sekä niiden väliset kiskot.



**Kuva 27.** Steran ulkokaappi ja sisämekaniikka yhteensulautettuna. Kuva kaapin edestä.



**Kuva 28.** Kaappi takaa.



**Kuva 29.** 3D-näkymä kaapista.

## 8 YHTEENVETO

### 8.1 Arviointi

Tämän projektin osalta suunnittelutyö jatkuu vielä, ennenkuin osia päästään tilaamaan ja kokoonpano aloittamaan. Siitä huolimatta projektin eteen on tehty runsaasti työtä. Työtä, josta osa näkyy 3D-malleina, mutta suurin osa tämän projektin työstä on ollut niinsanottua näkymätöntä työtä. Ainoat mallit siitä ovat projektin ympärillä työskentelevien henkilöiden päässä. Että projekti saatiin tähän pisteeseen on tapahtunut todella paljon asioita, osa on vienyt projektia paljon eteenpäin ja osa on vienyt projektia paljon taaksepäin. Käyn tässä seuraavaksi edellämäinnittuja asioita läpi.

Suunnittelun osalta mielenkiintoinen ja aikaa säästävä menetelmä juuri tähän tarkoitukseen voisi olla luurankomalli-mallinnus. Tämä menetelmä on erittäin hankala aluksi ja juuri sen takia sitä meillä ei käytössä nyt ollut, mutta se ehdottomasti voisi olla opettelemisen arvoinen asia tulevaisuuden kannalta. Luurankomalli siis tarkoittaa erittäin yksinkertaista mallia kaapista, jossa on esimerkiksi seinien paikkoja varten luotu tasoja, jotka on mitoitettu tietyn pisteen mukaan. Näin saadaan seinien paikkoja muutettua, kun muutetaan vain tätä mitta. Seiniin kiinnitettäviä komponentteja varten voidaan luoda apuakseleita samalla periaatteella. Näihin luotuihin apuakseleihin ja –tasoihin lopulta kiinnitetään osat paikoilleen ja ne seuraavat jatkossa luurankomalliin tehtyjä muutoksia. Tällä vältytään ongelmilta joita tulee, kun ei saada jotain kulmaa kaapista kiinnitettyä varmasti paikoilleen. Myöhemmin tähän vajaasti kiinnitettyyn runkoon aletaan kiinnittämään komponentteja, jolloin siirtyy pahimmassa tapauksessa kaikki osat ilman minkäänlaista kontrollia.

Projektin edetessä mitoitus muuttui myös muista syistä kuin ulkokaappi valmistajan puutteesta. Yksi eniten mitoitusta sotkeneista tekijöistä oli UL-standardi. Tai pikemminkin sen vaikea selkoisuus ja se, että projektissa ei lopulta ollut ainuttakaan henkilöä, joka sen olisi hallinnut. Kyseisen standardin luettavuudesta ja ymmärrettävyydestä kertoo jotain Vaasan ammattikorkeakoulun



sähkötekniikan osastonjohtajan, yliopettaja Vesa Verkkosen kanssa käyty keskustelu, jossa hän toteaa, että ottaen huomioon hänen vuosien saatossa kertyneen kokemuksen erilaisista standardeista, juuri UL on hänen mielestään kaikkein vaikeaselkoisin. Lisäksi huomion arvoista on, että projektin parissa työskenteli myöskin amerikkalaisia henkilöitä, mutta silti kaikki asiat eivät olleet ajoissa selvillä. Tämä standardi vaati esimerkiksi kiskoille + 125 % ylimitoituksen, jota ei vaadita Euroopassa eikä siitä ollut kenelläkään mitään tietoa suunnittelun alkuvaiheessa. Tieto saapui, kun suurin osa kiskoista oli jo valmiina ja paikoillaan. Tällaisen välttämisen jatkossa näkisin onnistuvan selkeällä aloituspalaverilla, jossa jokainen projektiin osallistuva istutetaan saman pöydän ääreen ja tällöin jokainen saa kertoa ajatuksiaan projektista ja tätä kautta saataisiin tietty henkilö sitoutettua ottamaan epäselvistä asioista selvää, mikäli siihen ei tietoa ole saatavilla valmiina. Näin jokainen joka on paikalla tietäisi keneltä kyseistä asiaa voidaan kysyä ja myös välttyttäisiin siltä, että yhdelle työntekijälle tulisi kohtuuttomat työtaakat kohtuuttomassa aikataulussa.

Eräs mielenkiintoinen asia liittyen tähän + 125 % ylimitoitukseen ja sen tarvittavuuteen on se, että suunnittelemastamme laitteistosta ei missään olosuhteissa ole mahdollista saada mitään muuta tehoa kuin se teho, joka sille on suunniteltu. Sama pätee virtoihin sekä jännitteisiin. Kysymys siis kuuluukin onko mahdollista välttää tämä ylimitoitus jos voidaan todistaa, että laite ei missään olosuhteissa milloinkaan tuota annettuja arvoja isompia lukuja. Tällä voitaisiin optimoida jo ennestään suuria kiskoja, mikä puolestaan näkyisi laitteiston hinnassa suoraan. Etenkin, jos laite tulee massatuotantovaiheeseen pitää tällaiset asiat olla huomioituna ja tämä asia tullaankin varmasti selvittämään ennen sitä.

Projektin alkuvaiheessa suurimpia ennakkoluuloja oli ympäristövaatimuksia ja UBC Zone 4- luokitusta kohtaan. Mutta nämä osoittautuivat kaikkea muuta kuin vaikeimmaksi asiaksi tässä projektissa. Tämä vain ja ainoastaan kovan alihankkijan ammattitaidon ja kokemuksen ansiosta. Heidän kanssaan käymistä palavereista ja yhtiövierailuista oppi erittäin paljon, miten he ovat ratkaisseet asioita ja minkälainen suhtautuminen heillä mekaanisiin ongelmiin oli.

Suunnittelussa monesti oli tunne, että otetaan askel eteen ja kaksi taakse, mutta uskoisin, että juuri tällä tavalla opin projektin aikana kaikkein eniten itse suunnittelua. Jokaista kappaletta tehdessä joutui miettimään asioita monelta kantilta, valmistajan, asentajan, huoltajan sekä itsensä kannalta. Täytyi aina miettiä, mikä olisi järkevin tapa tehdä kyseinen komponentti, että sitä voisi muuttaa helposti mikäli joku mitta tulee muuttumaan. Tämä sen takia, että jokaista komponenttia ei tarvitsisi tehdä uudelleen aina kun muutos tapahtuu. Sama päti myös kokoonpanoon. Luurankomallin avulla kokoonpanon hallinta, muutoksia kohdatessa, olisi varmasti ollut paljon helpompaa. Uskon, että tämän menetelmän käytöstä tullaan jatkossa pyytämään koulutusta ohjelmistotoimittajalta ja mikäli sen omaksuminen onnistuu tarpeeksi hyvin, siitä tullaan saamaan paljon aikaa säästävää työkalu kaikkiin projekteihin, ei pelkästään epäselviin.

Projektin edetessä tuli myös opittua paljon itse tuoterakenteesta. Nyt tietää paljon paremmin, miksi käytetään tiettyjä komponentteja tietyissä paikoissa ja tietää myös hieman taustoja miksi tälläisiin komponentteihin on alunperin päädytty. Myös The Switchin tuotantoon on päässyt paremmin sisälle, kun on joutunut miettimään voisiko joitain jo olemassa olevia ratkaisuja käyttää myös tässä projektissa ja tätä kautta on paremmin ymmärtänyt eri kaappirakenteita.

Kaikki suunnittelu tapahtui NX6 ohjelmistolla, joka on yhteydessä Teamcentteriin.

## KIRJALLISUUTTA

/1/ Ahvo, Risto, Manager, Development and Projects Management 18.11.2009.  
The Switch Controls and Converters, Hudson. Haastattelu

/2/ Helsingin yliopisto. Verkkovideot [online]. [Viitattu 21.12.2009]. Saatavilla  
www- muodossa:

<http://www.helsinki.fi/videot/play.html?19822>

/3/ Luento 7. Kennotyypit [online]. [Viitattu 13.11.2009]. Saatavilla www-  
muodossa:

[http://74.125.77.132/search?q=cache:wJ\\_s5KRT0-cJ:webhotel2.tut.fi/units/smg/tp/kurssit/SMG-4450/luento7\\_kennotyypit.pdf+aurinkokenno+sukupolvet&cd=3&hl=fi&ct=clnk&gl=fi&client=firefox-a](http://74.125.77.132/search?q=cache:wJ_s5KRT0-cJ:webhotel2.tut.fi/units/smg/tp/kurssit/SMG-4450/luento7_kennotyypit.pdf+aurinkokenno+sukupolvet&cd=3&hl=fi&ct=clnk&gl=fi&client=firefox-a)

/4/ PDX-089T [online]. [Viitattu 09.03.2010]. Saatavilla www-muodossa:

<http://www.comptelds.com/assets/images/PDX-089T-U.jpg>

/5/ Roxtec [online]. [Viitattu 20.03.2010]. Saatavilla www-muodossa:

[http://www.roxtec.com/ROX\\_StreamFile.php?id=7812](http://www.roxtec.com/ROX_StreamFile.php?id=7812)

/6/ Roxtec. Our succes story [online]. [Viitattu 20.03.2010]. Saatavilla www-  
muodossa:

<http://www.roxtec.com/about-roxtec/our-success-story/>

/7/ SMG-445 Aurinkosähkö 15.9.2009 [online]. [Viitattu 09.11.2009]. Saatavilla  
www-muodossa:

<http://74.125.77.132/search?q=cache:W2ZgHEX7TdIJ:webhotel2.tut.fi/units/smg/tp/kurssit/SMG-4450/luento2.pdf+aurinkoenergian+historia&cd=10&hl=fi&ct=clnk&gl=fi&client=firefox-a>

/8/ Stera. Stera technologies [online]. [Viitattu 20.03.2010]. Saatavilla www-  
muodossa:

<http://www.stera.com/?pageid=2&parent0=2>

/9/ Sun Drive I 1000 Specifications. Piyush Desai 2010.

/10/ Sun-Parts Oy. Aurinkosähkön periaate [online]. [Viitattu 13.11.2009].

Saatavilla www-muodossa:

[http://www.sun-parts.fi/index.php?option=com\\_content&task=view&id=28&Itemid=37](http://www.sun-parts.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=28&Itemid=37)

/11/ Suomentuulienergia 2009. Tuulivoimamarkkinoiden historiaa [online].

[Viitattu 24.10.2009]. Saatavilla www-muodossa:

<http://www.suomentuulienergia.fi/historia.html>

/12/ The Switch 2009. Background [online]. [Viitattu 3.10.2009]. Saatavilla

www-muodossa:

[http://www.theswitch.com/EN/About\\_Us/Background](http://www.theswitch.com/EN/About_Us/Background)

/13/ The Switch 2009. Business areas [online]. [Viitattu 3.10.2009]. Saatavilla

www-muodossa:

[http://www.theswitch.com/EN/About\\_Us/Business\\_areas](http://www.theswitch.com/EN/About_Us/Business_areas)

/14/ The Switch 2009. Corporate governance [online]. [Viitattu 3.10.2009].

Saatavilla www-muodossa:

[http://www.theswitch.com/EN/About\\_Us/Corporate\\_governance](http://www.theswitch.com/EN/About_Us/Corporate_governance)

/15/ The Switch 2009. Fuell cell applications [online]. [Viitattu 16.10.2009].

Saatavilla www-muodossa:

[http://www.theswitch.com/EN/Products/Fuel\\_cell\\_applications](http://www.theswitch.com/EN/Products/Fuel_cell_applications)

/16/ The Switch 2009. Full-power converters [online]. [Viitattu 16.10.2009].

Saatavilla www-muodossa:

[http://www.theswitch.com/EN/Products/Wind\\_power/Full-power\\_converters](http://www.theswitch.com/EN/Products/Wind_power/Full-power_converters)

/17/ The Switch 2009. High-speed motors [online]. [Viitattu 16.10.2009].

Saatavilla www-muodossa:

[http://www.theswitch.com/EN/Products/Industrial\\_applications/High-speed\\_motors](http://www.theswitch.com/EN/Products/Industrial_applications/High-speed_motors)

/18/ The Switch 2009. Key facts [online]. [Viitattu 3.10.2009]. Saatavilla www-muodossa:

[http://www.theswitch.com/EN/About\\_Us/Key\\_facts](http://www.theswitch.com/EN/About_Us/Key_facts)

/19/ The Switch 2009. Permanent magnet (PM) machines [online]. [Viitattu 16.10.2009]. Saatavilla www-muodossa:

[http://www.theswitch.com/EN/Products/Industrial\\_applications/Permanent\\_magnet\\_machines](http://www.theswitch.com/EN/Products/Industrial_applications/Permanent_magnet_machines)

/20/ The Switch 2009. Products [online]. [Viitattu 03.10.2009]. Saatavilla www-muodossa:

<http://www.theswitch.com/EN/Products>

/21/ The Switch 2009. Shareholders [online]. [Viitattu 03.10.2009]. Saatavilla www-muodossa:

[http://www.theswitch.com/EN/About\\_Us/Shareholders](http://www.theswitch.com/EN/About_Us/Shareholders)

/22/ The Switch 2009. Solar power [online]. [Viitattu 16.10.2009]. Saatavilla www-muodossa:

[http://www.theswitch.com/EN/Products/Solar\\_power](http://www.theswitch.com/EN/Products/Solar_power)

/23/ The Switch 2009. The Switch logo [online]. [Viitattu 03.10.2009]. Saatavilla www-muodossa:

<http://www.theswitch.com/Link.aspx?id=1037609>

/24/ The Switch 2009. Variable speed gensets (VSGs) [online]. [Viitattu 16.10.2009]. Saatavilla www-muodossa:

[http://www.theswitch.com/EN/Products/Variable\\_speed\\_gensets](http://www.theswitch.com/EN/Products/Variable_speed_gensets)

/25/ The Switch 2009. Wind power [online]. [Viitattu 18.03.2010]. Saatavilla www-muodossa:

[http://www.theswitch.com/EN/Products/Wind\\_power](http://www.theswitch.com/EN/Products/Wind_power)

/26/ Tuulitaito. Tuulivoimatekniikka [online]. [Viitattu 24.10.2009]. Saatavilla www-muodossa:

[www.tuulitaito.fi/Artikkelit/tuulivoimatekniikkaa\\_luento.ppt](http://www.tuulitaito.fi/Artikkelit/tuulivoimatekniikkaa_luento.ppt)

/27/ Työ- ja elinkeinoministeriö 2009. Uusiutuvat energialähteet ja energiatehokkuus [online]. [Viitattu 16.10.2009]. Saatavilla www-muodossa:

<http://www.tem.fi/index.phtml?s=2481>

/28/ UL 0508C – Standardi.

/29/ Uniform Building Code. [Viitattu 1.4.2010].

/30/ Wikipedia. Aurinkokenno [online]. [Viitattu 13.11.2009]. Saatavilla www-muodossa:

<http://fi.wikipedia.org/wiki/Aurinkokenno>

/31/ Wikipedia. Polttokenno [online]. [Viitattu 21.12.2009]. Saatavilla www-muodossa:

<http://fi.wikipedia.org/wiki/Polttokenno>

/32/ Wikipedia. Solar Power [online]. [Viitattu 09.11.2009]. Saatavilla www-muodossa:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_power](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power)

/33/ Wind Energy – The facts 2009. The technical challenge of a unique technology [online]. [Viitattu 24.10.2009]. Saatavilla www-muodossa:

<http://www.wind-energy-the-facts.org/en/part-i-technology/chapter-3-wind-turbine-technology/evolution-of-commercial-wind-turbine-technology/the-technical-challenge-of-a-unique-technology.html>