



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mikko Jorma Matias Pohjola

Konvertterikaapin nestejäähdytyksen suunnittelu

Tekniikka ja liikenne
2010

ALKUSANAT

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

Työn valvojana on toiminut The Switchin puolesta director R&D Pasi Törmänen ja ohjaajana lehtori Timo Gröndahl Vaasan ammattikorkeakoulusta.

Haluan kiittää työn ohjaajaa Timo Gröndahlia ja työn valvojaa Pasi Törmästä saamastani ohjauksesta, opastuksesta sekä kannustuksesta. Kiitokset Timo Karhuselle sekä kaikille muille minua opinnäytetyön tekemisen aikana opastaneille ja tukeneille. Erityiskiitos myös kollegalleni Juha-Matti Rajalalle yhdessä tehdyistä oivalluksista suunnittelutyön vaikeina hetkinä.

Tämä on julkinen versio, josta yrityssalaisuudet on poistettu.

Vaasassa 12.4.2010

Mikko Pohjola

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Mikko Pohjola
Opinnäytetyön nimi	Konvertterikaapin nestejäähdytyksen suunnittelu
Vuosi	2010
Kieli	suomi
Sivumäärä	56
Ohjaaja	Timo Gröndahl

Opinnäytetyö tehtiin The Switch Drive Systems Oy:n toimeksiannosta. Tutkimus ja suunnittelutyön tavoitteena oli suunnitella jäähdytysjärjestelmä konvertterikaapin prototyyppiin. Työ rajattiin isosta Sun Drive i1000-projektista, jossa suunnitellaan kokonaan uusi tehonmuokkain aurinkosähkön tuottamiseen.

Työ alkoi vertaamalla eri jäähdytysmenetelmiä ja valitsemalla niistä parhaimmin tähän käyttötarkoitukseen soveltuva. Työtä jatkettiin tutkimalla eri komponentteja ja niiden soveltumista jäähdytysjärjestelmään. Tarvittaessa komponentteja muokattiin ennen runkoon kiinnitysmenetelmän suunnittelemista. Aineistoa ja tietoa työhön kerättiin alan osaajilta, kirjallisuudesta sekä The Switchin omalta henkilöstöltä.

Suunnittelu ja tutkimustyön tuloksena saatiin valtaosa jäähdytyskomponenteista valittua järjestelmään. Ne muokattiin konvertterikaapin tarpeisiin sopiviksi ja suunniteltiin kiinnitysmenettelyt. Näin saatiin aikaiseksi hyvä lähtökohta prototyypin valmistamiselle. Prototyypin valmistamisen ja testaamisen jälkeen alkaa jatkokehitys sarjatuotantoa varten.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author	Mikko Pohjola
Title	Liquid Cooling Design for High Power Converter
Year	2010
Language	Finnish
Pages	56
Name of Supervisor	Timo Gröndahl

This thesis is made by the commission of The Switch Company. The purpose was to design a cooling system for the prototype of a high power converter. This work contains designing work only for Sun Drive i1000 project, which is a new application for generating solar power.

The first phase was to compare different types of cooling systems and to choose the most suitable for the purpose of this project. The work continued by going over components and by examining their suitability for the cooling system. Furthermore, modifications were done to the components before designing the fix mechanism of the components. The materials and information for this thesis were collected from the experts of cooling system designing as well as from various literature sources and from employees of The Switch.

The result of the work mentioned above, was that the main components for the cooling system were chosen. Some further changes and modifications were made to the components, to fix them onto the cooling system. Performing these operations appeared to be an excellent starting point, from which the prototype will be manufactured. The work continued by designing and testing the prototype, which is expected to lead to further developing, enabling the article to be mass produced.

Keywords power converter, cooling system, liquidcooling

KÄYTETYT LYHENTEET JA KÄSITTEET

AC	Alternating Current, vaihtovirta
bar	Paineen yksikkö
DC	Direct Current, tasavirta
GPM	Gallons per Minute, yksikkö, joka ilmoittaa montako gallonaa, jokin aine virtaa yhden minuutin aikana.
GW	Gigawatti, tehon yksikkö
Invertteri	Laite, jonka avulla muunnetaan vaihtovirtaa tasavirraksi tai tasavirtaa vaihtovirraksi.
IP65	International Protection, Eurooppalainen sähkölaitteiden tiiveysluokka, jossa numerointi kertoo tiiveysluokan.
Konvertteri	Tehoelektroniikkalaite, jolla liitetään kaksi eritaajuista sähköjärjestelmää toisiinsa. Voidaan käyttää myös nimitystä tehonmuokkain.
kW	Kilowatti, tehon yksikkö
LPM	Litre per Minute, yksikkö, ilmoittaa montako litraa, jokin aine virtaa yhden minuutin aikana.
Lämpöhäviö	Sähkölaitteessa syntyvä tehon alennus, kun laite toimiessaan lämpenee.
MW	Megawatti, tehon yksikkö
NEMA3	Yhdysvaltalaisen lajivalmistajien liiton määrittelemä sähkölaitteiden tiiveysluokka. Numero määrittelee tiiveysluokan.
Photovoltaic	Laite, jolla auringon säteily muunnetaan sähköenergiaksi. Suomessa käytetään nimitystä aurinkokenno.
UBC	Uniform Building Code, USA:lainen rakentamisen standardi maanjäristysalueelle.

SISÄLLYS

ALKUSANAT.....	2
TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT.....	4
KÄYTETYT LYHENTEET JA KÄSITTEET	5
1 JOHDANTO	8
1.1 Sisältö ja lähtökohdat	8
1.2 Tavoitteet.....	8
2 YRITYSESITTELY.....	9
2.1 The Switch.....	9
2.2 Tuotteet.....	10
3 AURINKOENERGIA	13
3.1 Aurinko.....	13
3.2 Aurinkolämpö.....	13
3.3 Aurinkosähkö.....	13
3.3.1 Sovellukset	13
3.3.2 Tuotantopaikat ja -määrä.....	14
3.3.3 Kytkeminen sähköverkkoon.....	14
4 TEHONMUOKKAIN	16
4.1 Toimintaperiaate	16
4.2 Invertteri	17
5 TEHONMUOKKAIMEN JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄ	18
5.1 Lähtökohdat ja vaihtoehdot	18
5.2 Nestejäähdytys	19
5.3 Jäähdytyksessä huomioitavat seikat.....	19
6 SUN DRIVE i1000.....	21
6.1 Tuote.....	21
6.2 Vaatimukset	21
6.2.1 Lähtökohdat.....	21
6.2.2 Kaapin vaatimukset.....	21
6.2.3 Jäähdytysjärjestelmän teho.....	22

7	KAAPIN SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT.....	25
8	JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU.....	28
8.1	Moduuli vaihe 1	28
8.2	Moduuli, vaihe 2	30
8.3	Moduuli vaihe 3	31
9	YHTEENVETO	33

LÄHTEET

1 JOHDANTO

1.1 Sisältö ja lähtökohdat

Tämä opinnäytetyö tehtiin The Switch Drive Systems Oy:lle keväällä 2010. Työ on osa Sun Drive i1000-projektia. Ensimmäisessä vaiheessa suunnitellaan ja tehdään prototyyppi. Prototyypin testaamisen jälkeen tehdään tarvittavat muutokset ennen sarjatuotantoon siirtymistä. Työssä tutkittiin ja suunniteltiin nestejäähdytysjärjestelmä DC/AC-konvertterikaappiin. Tässä yhteydessä konvertterikaapilla tarkoitetaan metallirunkoista kaappia eli tehonmuokkainta, jossa on sen toiminnalle välttämättömät komponentit sisällä.

Jäähdytysjärjestelmän tulisi toimia itsenäisesti ilman ulkopuolista jäähdytys apua. Lisäksi konvertterikaappi jäähdytysjärjestelmään tulisi olla mahdollista sijoittaa vaativiinkin olosuhteisiin, kuten aavikoille tai vuoristoon korkeampaan ilmanalaan. Tämän lisäksi konvertterissa käytettävät sähköiset osat antoivat omat vaatimuksensa jäähdytysjärjestelmän teholle ja rakenteelle.

1.2 Tavoitteet

Tavoitteena oli luoda tehokas, yksinkertainen ja toimiva ratkaisu konvertterikaapin ja sen komponenttien jäähdytykseen. Tässä yhteydessä työ rajattiin koskemaan ainoastaan Sun Drive i1000-projektia, sovellusta aurinkoenergiaan.

Lopputuloksena pitäisi olla toimiva ja prototyyppiin valmis jäähdytysjärjestelmä. Dokumentoinnin tulisi olla sillä tasolla, että kyseiseen järjestelmään voidaan helposti tehdä muutoksia.

2 YRITYSESITTELY

2.1 The Switch



Kuva 1. The Switchin logo. /26/

The Switch on uusiutuvien energianlähteiden kuten tuuli- ja aurinkoenergian tuotteisiin erikoistunut yritys /20/. The Switch syntyi joulukuussa vuonna 2006, kun kolme yhtiötä yhdistettiin. Vertecon, Youtilityn ja Rotatek Finlandin pohjalta syntyivä The Switchin kolme tytäryhtiötä; The Switch Electrical Machines Oy, The Switch High Power Converters sekä The Switch Controls and Converters. Tämän lisäksi The Switchiin kuuluu tytäryhtiö Kiinassa; The Lu'an Switch Electric Power Production Equipment Co., Ltd. Nämä kaikki olivat emoyhtiö The Switch Engineering Oy:n alaisuudessa. Vuoden 2010 alussa The Switch Electrical Machines Oy ja The Switch High Power Converters yhdistyivät The Switch Drive Systems Oy:ksi. Nyt The Switch Engineering Oy:n alaisuuteen kuuluu The Switch Drive Systems Oy Suomessa, The Lu'an Switch Electric Power Production Equipment Co., Ltd Kiinassa sekä The Switch Controls and Converters USA:ssa. Kuvassa 1 on The Switchin logo. /21/

Vuonna 2007 konsernin liikevaihto oli 20 miljoonaa euroa ja vuonna 2008 se oli 53.7 miljoonaa euroa. Vuonna 2009 liikevaihto kasvoi edelleen rajusti, mutta jäi hieman alle 100 miljoonan euron. Työntekijöitä The Switchillä on yli 190 ja uusia rekrytöidään koko ajan. Konsernin pääkonttori sijaitsee Vantaalla ja muut toimipisteet Suomessa ovat Vaasassa ja Lappeenrannassa. Toimipisteet ulkomailla sijaitsevat Kiinassa Pekingissä sekä Lu'anissa, USA:ssa Hudsonissa ja Saksassa

Hampurissa. Uusin toimipiste avattiin joulukuussa 2009 Espanjaan Barcelonaan.
/25/

2.2 Tuotteet

Päätuotteina The Switch valmistaa megawattiluokan tehomuokkaimia sekä kestromagneettigeneraattoreita. Vaasan tehtaassa valmistetaan tuulivoimaan tarkoitettuja tehonmuokkaimia, mutta tuotantoa on tarkoitus laajentaa aurinko- ja aaltoenergiaan. Kestomagneettigeneraattoreita, moottoreita sekä säädettävänäopeuksisia sähkökäyttöjä teollisuuden sovelluksiin valmistetaan Lappeenrannassa sijaitsevalla tehtaalla. Hudsonissa sijaitseva tehdas on keskittynyt aurinko- ja polttokennoissa käytettäviin DC/AC-konverttereihin ja säätöjärjestelmiin. /27/

Täystehokonvertteri

Konvertteri on tehonmuokkain joka muuntaa generaattorista saatavan sähkönsäähköverkkoon sopivaksi. The Switch valmistaa täystehokonverttereita asiakkaan tarpeiden mukaisesti. Niitä voidaan valmistaa 250-5400 kW alueelle. Yksittäisen konvertterin teho voi olla suurimmillaan 1800 kW, mutta suurempaa tehoa tarvittaessa yksittäiset konvertterit kytketään rinnan halutun tehon saavuttamiseksi. /23/



Kuva 2. Täystehokonverterteri. /28/

Kestomagneettigeneraattori

The Switch valmistaa perinteisiä vaihdelaatikolla varustettuja suurnopeus- ja keskinopeuslaitteita. Suurnopeuslaitteilla 1000-2000 rpm saadaan 1.0-4.5 MW teho ja keskinopeuslaitteilla 100-500 rpm 1.0-5.0 MW teho. The Switch on erikoistunut vaihteettomien suoraveto generaattoreiden valmistukseen. 14-20 rpm nopeudella saadaan 1.5-6.0 MW teho. Suurin The Switchin valmistama suoravetokestomagneettigeneraattori on 3.8 MW ja 17 rpm nopeudella pyörivä yksikkö. Vaihteettomien kestomagneettigeneraattoreiden etuna on pitkä käyttöikä, huoltovapaampi ja vähemmän kuluvia osia sisältävä tekniikka. /24/



Kuva 3. Generaattori. /28/

Suur-nopeusmoottorit

The Switch valmistaa suur-nopeusmoottoreita, joiden nopeus on 6000-12000 rpm välillä ja teho 300-1000 kW, mutta asiakaskohtaisesti myös näiden arvojen ulkopuolella. /29/

Aurinkovoima- ja polttokennosovellukset

The Switchin tuotevalikoimasta löytyy myös sovelluksia aurinkovoimaan ja polttokennoihin. Aurinkovoimaan on ilmajäähdytteinen konverteri /22/. Tulevaisuudessa keskitytään nestejäähdytteisten aurinkovoimasovellusten kehittämiseen. Polttokennot sovellukset on tarkoitettu käytettäväksi PEM- ja SOFC-tyyppisten kennojen kanssa. Sekä aurinkovoima että polttokennosovellukset täyttävät UL 1741- ja IEEE 1547-standardit. /29/

3 AURINKOENERGIA

3.1 Aurinko

Auringossa tapahtuvan lämpödinreaktion eli fuusion seurauksen vapautuu $3,8 \times 10^{23}$ kW:n kokonaisteho. Maanpinnalle tästä määrästä tulee $1,7 \times 10^{14}$ kW, mikä on noin 20000 kertaa maapallon teollisuuden ja lämmityksen käyttämä energia. Auringosta saatavan energian hyödyntämiseen käytetään pääsääntöisesti kahta eri tapaa. /9/

3.2 Aurinkolämpö

Aktiivisessa aurinkolämmössä auringosta tuleva säteily otetaan talteen keräimen energiaa absorboivalla pinnalla. Näin säteilyenergia muuttuu lämmöksi, joka johdetaan pääsääntöisesti lämminvesivaraajaan /8/. Passiivisessa aurinkolämmössä rakennus itsessään toimii sekä aurinkokeräimenä että lämpövarastona, eikä erillisiä lisälaitteita tarvita. /10/

3.3 Aurinkosähkö

3.3.1 Sovellukset

Aurinkosähkössä auringonsäteilyä käytetään hyväksi kahdella tapaa. Auringonsäteet voidaan ohjata peileillä keräimeen, josta lähtevä vesihöyry ohjataan höyrygeneraattorille. Pyöriessään generaattori tuottaa sähköä. /2/

Toinen tapa, jota kutsutaan myös nimellä Photovoltaic system (PV), on tuttu mm. pientaloista ja muista kevyistä sovelluksista. Niissä auringonsäteet osuvat paneeliin, joka on valmistettu puolijohdemateriaalista. Auringonvalo irrottaa puolijohteesta elektroneja, jonka seurauksena paneelissa syntyy tasasähkövirta. Paneeli koostuu kennoista, jotka kootaan sarjaan ja kytketään rinnan. Paneeleista koostuu paneelisto, jolla tarkoitetaan kaikkia järjestelmään kuuluvia paneeleita /12/. Invertteriä käyttämällä saadaan tasasähkö muutettua vaihtosähköksi ja näin syötettyä tavalliseen sähköverkkoon. /12/ Tässä työssä keskitytään ainoastaan edellä mainittuun PV sähkön tuotantoon. Kuvassa 4 on aurinkovoimalan

photovoltaic paneeleita. Yhden MW:n tuottoisen voimalaitoksen kentän kokoonne paneelisto sijoitetaan saattaa olla jopa 3 km×2 km /17/.



Kuva 4. Photovoltaic paneeleita. /1/

3.3.2 Tuotantopaikat ja -määrä

Photovoltaic-järjestelmillä tuotetun sähkön määrä on kasvanut runsaasti viime vuosien aikana. Vuonna 2001 PV-kokonaistuotannon määrä oli noin 2 GW, mutta vuonna 2007 tuotanto oli noussut jo yli 10 GW:iin /16/. Vuoden 2008 aikana tuotanto kasvoi lähes 40 prosenttia, joten tuotantomäärä vuoden lopussa oli lähes 15 GW:a. Euroopan johtavia tuotantomaita ovat Espanja ja Saksa. Muualla maailmassa näitä ovat USA, Japani ja Kiina. Varsinkin Aasian maissa kiinnostus uusiutuvien energianlähteiden käyttöön on voimakkaampaa verrattuna muihin maihin. Erityisesti Intia on luvannut panostaa aurinkoenergian tuotantoon. /4/

3.3.3 Kytkeminen sähköverkkoon

Aurinkosähköä voidaan käyttää joko sisäiseen sähköverkkoon liitettynä, esimerkiksi omakotitaloissa tai suurena tuotantolaitoksena, joka toimittaa sähköä

valtakunnalliseen verkkoon. Kuitenkin myös pienemmät aurinkosähkölähteet, kuten omakotitalojen aurinkovoimalat, voidaan liittää valtakunnalliseen sähköverkkoon. Tällöin laitoksen ylituottama sähkö ajetaan verkkoon silloin, kun talo ei kuluta kaikkea sen tuottamaa sähköä. Suoraan paneelista saatava sähkö on tasavirtaa. Tasavirran muuttamiseksi sähköverkkoon sopivaksi tarvitaan vaihtosuuntaajaa eli invertteriä. Suurten tuotantolaitosten yhteydessä invertteristä käytetään myös nimitystä konvertteri tai tehonmuokkain. /13/

4 TEHONMUOKKAIN

4.1 Toimintaperiaate

Tehonmuokkaimella tarkoitetaan elektronista laitetta, jolla muokataan voimalaitoksesta saatava sähkö halutulle taajuudelle sekä jännitteelle. Yleisimpiä sovelluksia, joissa tehonmuokkainta käytetään on tuuli- sekä aurinkovoimalat.

Tuulivoimaloissa generaattorista saatava vaihtosähkö muokataan tehonmuokkaimella verkkoon sopivaksi vaihtosähköksi. Tällöin on käytössä kaksi eri ratkaisua. Kaksoissyötetyssä eli doubly-fed rakenteessa, on tehonmuokkaimen koko noin 25-30 prosenttia generaattorin tehosta. Tällöin generaattorin pyörimisnopeutta joudutaan rajoittamaan. /3/

Täysiteho tehonmuokkainta käytettäessä koko generaattorin tuotto kulkee tehonmuokkaimen läpi ja tämä mahdollistaa vapaan pyörimisnopeuden generaattorille. Vapaa pyörimisnopeus mahdollistaa laitteiston käytön ilman vaihteistoa, koska täysitehoinen tehonmuokkain muuntaa generaattorin tuottaman sähkönsuoraan verkkoon sopivaksi. /3/

Aurinkovoimaloissa, kun käytössä on Photovoltaic paneelitekniikka, käytetään erilaista ratkaisua. Tällöin paneeleista saatava tasavirta muutetaan tehonmuokkaimella verkkoon sopivaksi vaihtovirraksi. /11/

The Switchin valmistamissa tuuli- ja aurinkovoimalaitosten tehonmuokkaimissa on yhteistä muun muassa se, että niissä käytetään inverttereitä. Tuulivoimasovelluksissa inverttereitä on kaksi. Ensimmäisellä invertterillä generaattorista tuleva vaihtelevataajuinen vaihtovirta muutetaan tasavirraksi ja syötetään sellaisenaan toiseen invertteriin. Tasavirta muutetaan toisessa invertterissä halutun taajuiseksi vaihtovirraksi. Aurinkovoimasovelluksissa käytetään vain yhtä invertteriä. Paneeleista saatava virta on valmiiksi tasavirtaa, joten se muutetaan invertterissä halutun taajuiseksi vaihtovirraksi.

4.2 Invertteri

The Switch käyttää Sun Drive i1000-tehonmuokkaimessa Vaconin nestejäähdytteisen NX-sarjan invertteriä. NX- sarja sisältää inverttereitä 5,5-5300 kW:n tehoalueella ja 380-690V jännitealueella. Tässä tehonmuokkaimessa käytetään CH-64-invertteriä ja sen tehoraja on noin 1.9 MW:a. Invertterissä on kaksi erillistä mekaanista yksikköä, teho- ja ohjausosa. Tehoyksikön moduulien määrä vaihtelee vaaditun tehon määrästä riippuen. /31/ Tässä tapauksessa niitä on kolme. Kuvassa 5 on Vaconin valmistama CH-sarjan nestejäähdytteinen invertteri. The Switchin käyttämä poikkeaa kuvassa olevasta mm. väritykseltään sekä moduulien määrältä. Väritykseltään se on oranssi-musta ja siinä on kahden sijaan kolme moduulia.



Kuva 5 CH-sarjan invertteri. /30/

5 TEHONMUOKKAIMEN JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄ

5.1 Lähtökohdat ja vaihtoehdot

Jäähdytysjärjestelmä on yksi tärkeimpiä asioita tehonmuokkaimen toiminnassa. Sähkölaitteiden toiminnassa syntyy aina häviötä, joka muuttuu lämmöksi. Suurien sähkövirtojen ollessa kyseessä on myös häviöiden osuus moninkertainen verrattuna arkipäivän laitteiden toimintaan. Megawattiluokan laitteiston kohdalla jo muutaman prosentin tehohäviö tuottaa valtavan määrän lämpöä, vaikka käytettyjen laitteiden hyötysuhde on lähellä sataa prosenttia. /7/

Työn kohteena olevan Sun Drive i1000-tehonmuokkaimen laskennallinen maksimiteho on yksi Megawatti. Muokkain sisältää runsaasti häviötä synnyttäviä komponentteja, kuten invertterin ja kuristimen. Muita häviötä synnyttäviä komponentteja ovat mm. virtakiskot ja johdot, jotka kuljettavat virtaa. Näiden laitteiston komponenttien lämpöhäviöt voivat olla jopa 2-5 prosenttia kokonaistehosta. Tämä vastaa kymmenien Kilowattien lämmittävää tehoa, jonka poistamiseksi jäähdytysjärjestelmää tarvitaan.

Tehonmuokkaimen jäähdyttäminen voidaan hoitaa, joko täysin ilmajäähdytteisenä tai nestejäähdytteisenä, jolloin nesteeseen sitoutunut lämpö haihdutetaan lämmönvaihtimen avulla ulkoilmaan. Useimmiten ilmajäähdytteisen kaapin tekeminen on varsin hankalaa, koska tehonmuokkaimia käytetään ankarissa olosuhteissa. Pölyn, hiekan ja muun lian pitämiseksi poissa kaapin sisältä tarvitaan valtavasti suodattimia tai muita vastaavia ratkaisuja. Lisäksi ilmajäähdytteisten komponenttien käyttö vaatii teho-tila suhteen paljon enemmän tilaa kuin vastaavat nestejäähdytteiset. Toisaalta nestejäähdytteiset tehonmuokkaimet tarvitsevat aina jonkin nestelähteen. Usein tällaista lähdettä ei ole valmiina saatavilla vaan se täytyy erikseen rakentaa, mikä aiheuttaa runsaasti kustannuksia. Nestejäähdytteinen kaappi saadaan kuitenkin huomattavasti tehokkaammin jäähdytettyä, sillä neste siirtää enemmän lämpöä kuin ilma. /7/

5.2 Nestejäähdytys

Tehonmuokkaimen jäähdytysjärjestelmältä vaaditaan paljon tehoa pienessä ja tiiviissä tilassa, joten nestejäähdytys on ainoa varteen otettava vaihtoehto. Tässä työssä konvertterikaapin luokitus on NEMA3/IP65. NEMA on Yhdysvaltalainen lajivalmistajien liiton luokitteleva sähkölaitteiden tiiveysluokitus. NEMA 3-määrittely on seuraava: Ulkokäyttöön, suojaamaan tuulen puhaltamalta pölyltä, sateelta ja rakeilta. Kotelo ei vahingoitu jään muodostumisesta sen pintaan /6/. Suoraan verrannollista IP luokitusta sille ei ole, mutta se vastaa lähinnä IP65 luokitusta. IP-luokituksen ensimmäinen numero kertoo kuinka hyvin kotelo suojaa kiinteiltä esineiltä ja toinen numero kertoo suojauksen nestemäisiä aineita vastaan. IP 65 –luokan kotelo suojaa täysin pölyltä ja kaikista suunnista tulevalta vesisuihkulta. /5/

Invertteri ja kuristin soveltuvat molemmat suoraan nestejäähdytykseen. Kaapissa on paljon myös sellaisia komponentteja, jotka lämmittävät sisäilmaa. Tämän vuoksi kaapin sisäilmalle tarvitaan oma jäähdytys. Se hoidetaan kahdella sähköpuhaltimella sekä ilma-nestelämmönvaihtimilla. Puhaltimet imevät lämmintä ilmaa kaapin yläosassa ja puhaltavat sen lämmönvaihtimien lävitse takaisin kaapin sisään.

5.3 Jäähdytyksessä huomioitavat seikat

Jäähdytysjärjestelmää suunniteltaessa täytyy huomioida monia asioita. Kosteuden muodostumista kaapin sisälle tulisi välttää. Tämän vuoksi sisäilman lämpötilan joutumista lähelle kastepistettä tulee välttää. Tästä johtuen ennen tehonmuokkaimen käyttöönottoa sitä lämmitetään jäähdytysjärjestelmän avulla, jolloin kosteus komponenttien pinnoilta häviää. Jäähdytysjärjestelmän tulee toimia hyvin kylmissäkin olosuhteissa, joten komponenttien kylmenemistä sekä jäätymistä liikaa tulee estää. Sen vuoksi jäähdytysneste ei ole pelkkää vettä vaan useimmiten se on vesi-etyleeniglykoliseos. Näiden lisäksi nesteeseen saatetaan lisätä muita lisäaineita, jotka estävät bakteerien sekä muiden orgaanisten aineiden muodostumisen järjestelmään. Ilmaan sitoutuu varsin vähän lämpöenergiaa, joten

suuren lämpö määrän siirtämiseen tarvitaan suhteellisen suuri määrä ilmaa. Tämän vuoksi kaapin sisällä olevan ilman tulee kiertää nopealla tahdilla. /7/

6 SUN DRIVE i1000

6.1 Tuote

Sun Drive i1000-tehonmuokkain suunniteltiin käytettäväksi aurinkovoimasovelluksissa. Konvertterin tarkoituksena on muuttaa Photovoltaic-järjestelmistä saatava tasavirta sähköverkkoon sopivaksi vaihtovirraksi. Tehonmuokkaimen suunniteltu maksimiteho on 1 megawatti ja se kohdistetaan Yhdysvaltojen markkinoille. Tämän vuoksi standardivaatimukset ovat erittäin tiukat. Laitteen täytettyä Yhdysvaltain markkinoiden standardit ja vaatimukset se soveltuu käytettäväksi lähes kaikissa muissakin maissa.

6.2 Vaatimukset

6.2.1 Lähtökohdat

Yhdysvaltojen markkinoille vietäville sähköelektroniikkalaitteille on tiukat vaatimukset. Tässä työssä vaatimukset tulivat pääsasiassa useista standardeista, maanjärjestysluokasta sekä teknisistä vaatimuksista. Spesifikaatio tuotteelle tehtiin The Switchin toimipisteessä USA:ssa, Hudsonissa.

6.2.2 Kaapin vaatimukset

Konvertterikaapin maksimimitoiksi määrättiin 3000 mm leveys, 1200 mm syvyys ja 2400 mm korkeus. Painon tulee olla alle 3000kg:a. Vasta laitteen suunnittelun ollessa kokonaan valmis tiedetään pysytäänkö annettujen mittojen ja painon vaatimuksissa. Yleinen suojausluokka kaapille on NEMA3/IP65. Maanjärjestysluokka on UBC Zone4. Lyhenne UBC tulee sanoista Uniform Building Code. Se on riippumattomien järjestöjen tekemä luokitus, jonka mukaan USA jaetaan neljään eri Zoneihin eli maanjärjestysriskiluokkaan. Zoneasteikko on 1-4, joista 4 on vaativin. UBC-luokitukselta tulee myös värinän sieto vaatimus, joka on 9 mm 5-35 Hz taajuudella. Käyttölämpötila voi vaihdella -20 ja +55 Celsiusasteen välillä kosteuden ollessa 5-96 %. Käyttökorkeus vaihtelee merenpinnan tason ja 1500 m välillä. Käyttöikäksi vaaditaan vähintään 20 vuotta. /14/ Näiden vaatimusten vuoksi kaapilta ja siinä käytettäviltä materiaaleilta

vaaditaan erittäin hyvää korroosionkestoa. Hyvin korroosiotakestäviä materiaaleja ovat mm. alumiini ja ruostumaton teräs. Myös muita keinoja, kuten sinkkaus tai tropiikkimaalaus ovat yleisesti käytettyjä.

6.2.3 Jäähdytysjärjestelmän teho

Kaikki kohdassa 6.2.2 kaapille esitetyt vaatimukset koskevat myös jäähdytysjärjestelmää. Laskennallinen teho jäähdytysjärjestelmälle saadaan laskemalla konverterissa syntyvät lämpöhäviöt yhteen. Suurimmat häviöt syntyvät invertterissä ja kuristimessa. Vaconin ilmoittama lämpöhäviö CH-64-invertterille on 26,50 kW. Trafotekin valmistaman kuristimen lämpöhäviö on noin 3,9 kW. Näiden lisäksi lämpöhäviötä syntyy osissa, jotka eivät ole nestejäähdytteisiä. Ne lämmittävät kaapin sisällä olevaa ilmaa. Suoraan ilmaa lämmittävien osien laskennallinen lämpöhäviö on yhteensä 4,42 kW:a. Tämä häviö syntyy muunmuassa kondensaattoreissa, virtakiskoissa sekä jäähdytysjärjestelmän moottorissa. Lisäksi jäähdytysjärjestelmän oma lämpöhäviö on 1,05 kW:a. Yhteenlaskettuna lämpöhäviötä syntyy noin 36 kW, joka saadaan seuraavana olevasta laskusta. /14/

$$26,50kW + 3,9kW + 4,42kW + 1,05kW = 35,87kW \quad (1)$$

36 kW:n lämpöhäviö voidaan myös ilmoittaa lämpötilan nousuna, joka tapahtuu jäähdytysjärjestelmässä. Vaconin ilmoittama korkein CH 64:n sallittu nesteen virtausnopeus on 120 litraa minuutissa (LPM). Kuristimen valmistajan ilmoittama vähimmäisvirtausnopeus on 1.2 GPM. Yksi Gallona on 3,785 litraa. Näin saadaan muutettua virtausnopeus litroiksi, joka on noin 4,5 LPM. Se saadaan muutettua seuraavalla tavalla:

$$1,2 \frac{G}{min} \times 3,785 \frac{l}{G} = 4,542 \frac{l}{min} \quad (2)$$

Koska tämä oli vähimmäisvaatimus laskuissa käytetään 4,5 LPM:n sijaan 5 LPM:n virtausta. Näiden arvojen perusteella virtausnopeuden tulee olla vähintään 125 LPM:a, joka saadaan laskettua seuraavasti. /14/

$$120 \frac{l}{min} + 5 \frac{l}{min} = 125 \frac{l}{min} \quad (3)$$

Nesteeseen siirtyy 36 kW:n häviö yhden minuutin aikana. Tämä vastaa 600 wattia yhdessä tunnissa (Wh).

$$\frac{36000W}{60min} = 600 \frac{W}{h} \quad (4)$$

Kaloreiksi muuttettuna se on noin 516 kilokaloria (kcal), koska 1Wh on 0,8598 kcal.

$$600 \frac{W}{h} \times 0,8598 \frac{kcal}{W/h} = 515,88kcal \quad (5)$$

Yksi vesilitra vaatii yhden asteen lämpötilan nousuun yhden Kilokalorin energian. Jakamalla 516 kcal:n lämpöhäviö virtausnopeudella 125LPM, saadaan lämpötilan nousu asteina, joka on noin 4,1 Celsiusta.

$$\frac{516kcal}{125l/min} = 4,128^{\circ}C \quad (6)$$

Jäähdytysnesteen lämpötila nousee vähintään 4,1 astetta jäähdytysjärjestelmässä yhden kierroksen aikana. /14/

Edelliset laskelmat ovat ulkoisen jäähdytysradiaattorin suunnittelun perusteena. Ulkolämpötilan oletetaan olevan maksimissaan 50 Celsiusta, joten jäähdytysnesteen lämpötila on noin 55-60 Celsiusastetta, kun se palaa konvertterikaapista takaisin ulkoiseen jäähdytysradiaattoriin. Täten ulkoisen radiaattorin tulee jäähdyttää jäähdytinnestettä 5 asteella. Sisäiseltä jäähdytysradiaattorilta vaaditaan samoja ominaisuuksia, eli sen tulee jäähdyttää konvertterikaapin sisälämpötilaa 5 asteella. /14/

Kaapin sisäilmaan siirtyvä lämpöhäviö on 4.4 kW. Radiaattori mitoitetaan jäähdyttämään 4.1 asteen lämpötilan nousu. Jatkuva lämpöhäviö on 4.4 kW minuutissa eli 73 Wh.

$$\frac{4400W}{60min} = 73,3 \frac{W}{h} \quad (7)$$

Kaloreiksi muutettuna tämä on noin 63 kcal.

$$73 \frac{W}{h} \times 0,8598 \frac{kcal}{\frac{W}{h}} = 62,8kcal \quad (8)$$

Kun jaetaan 63kcal lämpötilan nousulla eli 4.1 celsiusasteella saadaan virtausnopeudeksi 15.4LPM./14/

$$\frac{63kcal}{4,1^{\circ}C} = 15,4LPM \quad (9)$$

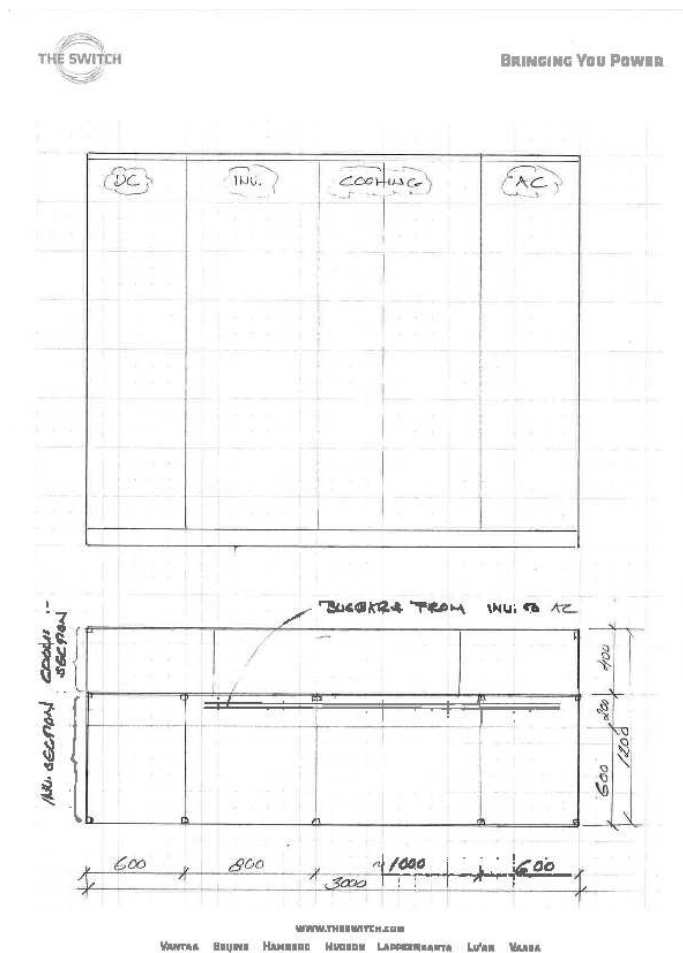
Nestejäähdytyksessä käytettävän pumpun tuottaman virtausnopeuden vaatimus saadaan laskemalla järjestelmän eri komponenttien vaatimat virtausnopeudet yhteen. Invertterissä suurin sallittu virtausnopeus on 120 LPM. Kuristimessa laskennallinen valmistajan ilmoittama nopeus on 5 LPM. Nesteen lämpötilan noususta johtuen käytetään 10 LPM virtausta. Kaapin sisällä oleva jäähdytysradiaattori vaatii 15 LPM-virtausnopeuden. Yhteensä pumpulta vaaditaan 145 LPM-tuotto.

$$120LPM + 10LPM + 15LPM = 145LPM \quad (10)$$

Laskelmissa halutaan säilyttää aina tietty varmuuskerroin, joten käytännössä 145 LPM sijaan käytetään 150 LPM arvoa. /14/

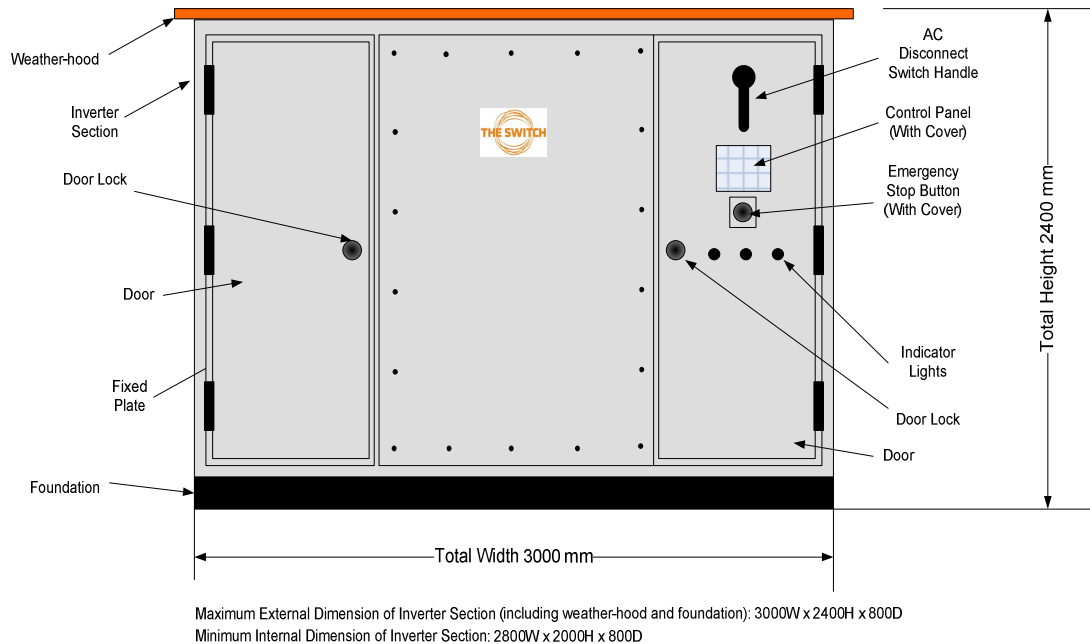
7 KAAPIN SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT

Kuvassa 6 on ensimmäinen luonnos kaapista. Se tehtiin ruutupaperille lyijykynällä piirtäen, jotta mittoja ja osastojen järjestystä olisi helppo hahmotella. Kaappi on jaettu viiteen eri osastoon, joista vasemmalta katsoen ensimmäinen on DC-osasto. Sen kautta paneeleilta tuleva tasavirta ohjataan toisena olevaan inverteriosastoon, jossa sähkö muutetaan vaihtosähköksi. Kolmantena olevassa osastossa on jäähdytysjärjestelmän komponentit ja neljännessä verkkoliitännän komponentit. Tämän lisäksi yksi, koko kaapin levyinen takapuolella sijaitseva osasto, on varattu ulkoista lämmönvaihdinta varten.

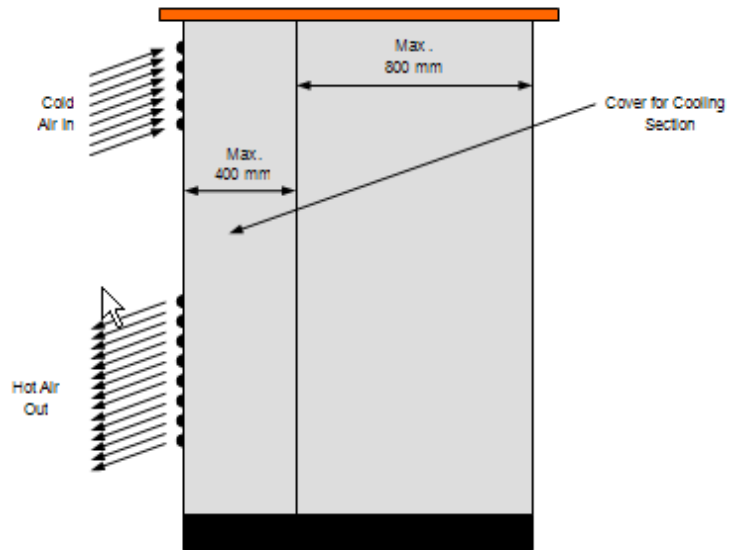


Kuva 6. Luonnos kaapista.

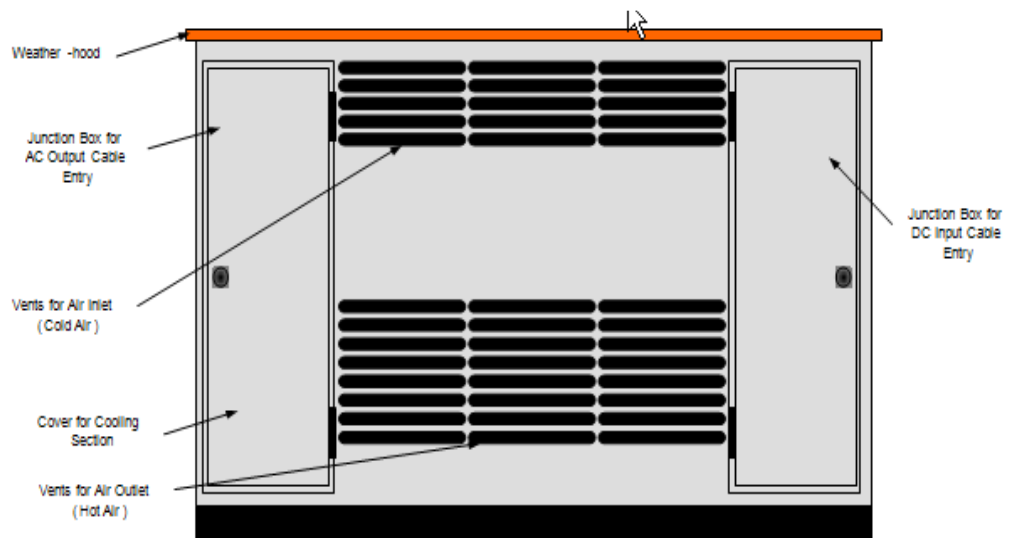
Tehonmuokkain koostuu useista kymmenistä komponenteista. Osa komponenteista on pieniä ja kevyitä, mutta valtaosa pääkomponenteista on massiivisia. Invertteri, kuristin sekä useat jäähdytyksen komponentit painavat useita kymmeniä kiloja. Painavat komponentit sekä kaapille asetettu tärinän sietokyky antoivat suunnittelulle varsin tiukan lähtökohdan. Kaapin perustaksi suunniteltiin tärinän kestävä runko johon komponentit kiinnitetään erilaisten asennusalustojen avulla. Runkoon kiinnitettävät seinät ja ovet antavat suojan ulkoilmasta aiheutuvaa rasitusta vastaan. Kaapin äärimitat määriteltiin seuraavasti: leveys 3000 mm, syvyys 800 mm+400 mm ja korkeus 2400 mm /14/. Syvyys suunnassa kaappi jaettiin kahteen osaan. 800 mm syvä inverterosa sisältää kaikki pääkomponentit ja suurimman osan jäähdytysjärjestelmän komponenteista. Toinen eli 400 mm syvä osa varattiin jäähdytinkennoa, puhaltimia sekä paneeli- ja verkkokykentää varten. Seuraavana on kolme luonnoskuvaa siitä, miltä valmiin kaapin tulisi näyttää.



Kuva 7. Kaappi, luonnos edestä. /14/



Kuva 8. Kaappi, luonnos sivulta. /14/

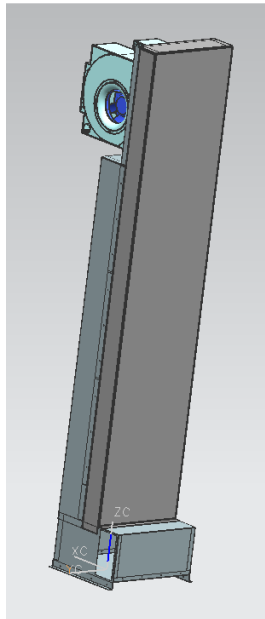


Kuva 9. Kaappi, luonnos takaa. /14/

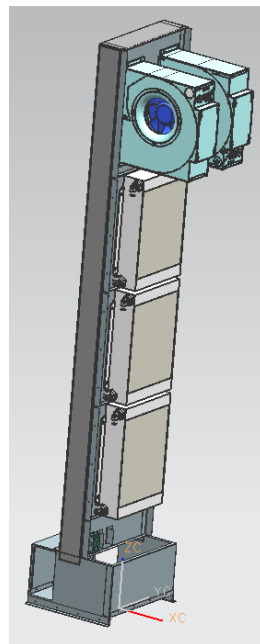
8 JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

8.1 Moduuli vaihe 1

Jäähdytinmoduulin toimintaperiaate on seuraava: Ylhäällä olevat puhaltimet imevät lämmennettyä ilmaa kaapin yläosasta ja puhaltavat sen tiiviiseen koteloon. Tästä kotelosta ilman ainoa tie eteenpäin on jäähdytyskennojen läpi toiseen koteloon. Jälkimmäisestä kotelosta jäähtynyt ilma ohjataan moduulin alaosassa olevaan laatikkoon, josta se johdetaan kaapin takaseinälle. Tasaisen ilmankierron aikaansaamiseksi mallinnettiin kaapin takaseinälle ilmakehanava, jota pitkin ilma jaetaan tasaisesti jokaiselle moduulille. Kuvassa 13 on esitetty jäähdytinmoduuli takaapäin. Tässä vaiheessa ilmakehanavien oli ajateltu lähtevän alhaalla olevasta laatikosta kohti kaapin molempia reunoja. Kuvasta 14 nähdään jäähdytinmoduuli edestäpäin. Näkymästä on poistettu jäähdytetyn ilman kotelo, jolloin jäähdytinkennot saadaan näkyviin. Jokaiselle kennolle on oma asennusalusta, jolloin asennus- ja huoltovaiheessa niitä voidaan käsitellä yksitellen. Letkut kennoilta jakotukeille tarkoitettiin tuotavaksi edestä kotelon läpi. Moduulin kokoamisessa suunniteltiin käytettäväksi Taptite-ruuveja, koska niillä saadaan hyvin tärinää kestävä liitos. Jäähdytyskennoille ja puhaltimille mallinnettiin puristemutteri- ja pulttiliitos.



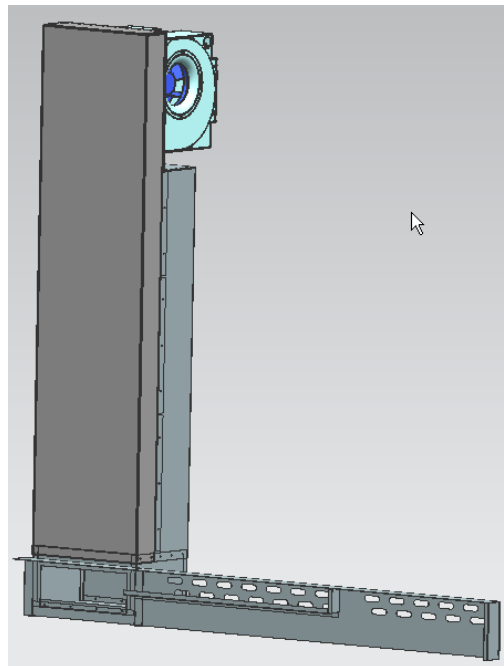
Kuva 13. Moduuli, vaihe 1 takaa.



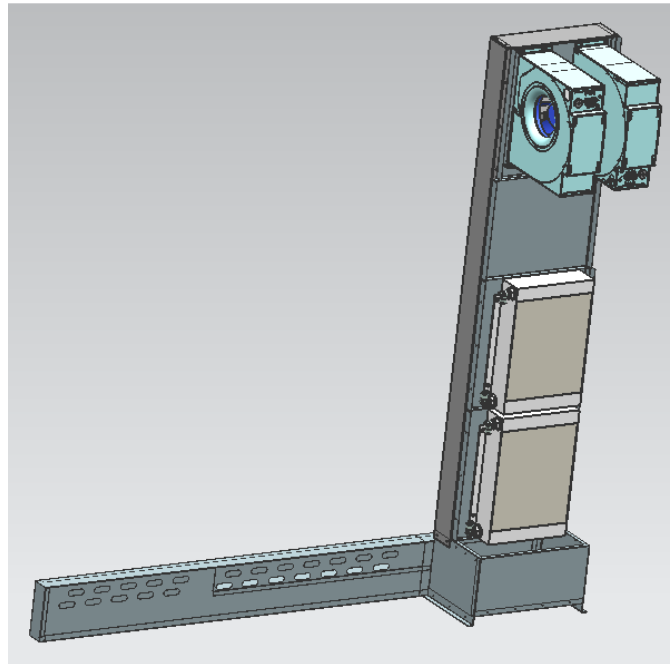
Kuva 14. Moduuli, vaihe 1 edestä.

8.2 Moduuli, vaihe 2

Projektin edetessä saatiin uutta tietoa jäähdytysvaatimuksista. Niiden perusteella lähdettiin tekemään uutta moduulia. Suurin muutos oli yhden jäähdytyskennon jättäminen rakenteesta pois, sillä muista projekteista saatujen mittaustulosten perusteella kahdella jäähdytyskennolla saadaan riittävä jäähdytysteho tehonmuokkaimelle. Kahden elementin käyttäminen mahdollisti matalamman moduulin tekemisen, joten sen sovittaminen runkoon helpottuisi huomattavasti. Kuvassa 16 on näkymästä poistettu etummainen ilmakotelo sekä oikeanpuoleinen kanavointi. Jäähdytyskennoja on kaksi ja niiden päälle on mallinnettu osastointilevy tiiviin rakenteen takaamiseksi. Toinen asennusta helpottava muutos tehtiin kanavointiin. Kanava jaettiin kolmeen osaan ja se oli tarkoitus asentaa kokonaisuudessaan kaapin takaseinälle. Tämä mahdollistaisi moduulin asentamisen niin, ettei sivuille päin tehtäviä liitoksia tarvita ollenkaan. Kuvassa 15 on näkymästä poistettu kanavan takaseinä rakenteen selventämiseksi.



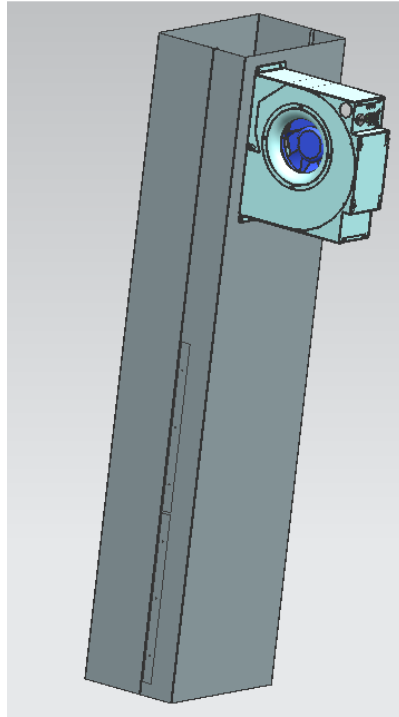
Kuva 15. Moduuli, vaihe 2 takaa.



Kuva 16. Moduuli, vaihe 2 edestä.

8.3 Moduuli vaihe 3

Kolmannessa vaiheessa moduulin rakennetta haluttiin yksinkertaistaa mahdollisimman paljon. Alaosan pohjakotelosta päästiin eroon ja puhaltimien kiinnistyspaikkaa vaihtamalla saatiin ilman etenemissuuntaa yksinkertaistettua. Kuvasta 17 näkyy suurimmat rakenteelliset muutokset.



Kuva 17. Moduuli, vaihe 3 edestä.

Rungon ja kaapin suunnittelun edetessä ilmeni, ettei moduulirakenne soveltu käytettäväksi tässä tehonmuokkaimessa. Siksi moduulien käytöstä luovuttiin ja komponenttien kiinnittämiseksi ryhdyttiin suunnittelemaan asennusalustoja sekä muita kiinnitysmenetelmiä.

9 YHTEENVETO

Työn suoritus alkoi perehtymällä jäähdytysjärjestelmältä vaadittaviin ominaisuuksiin sekä yleisesti tehonmuokkainten jäähdytysjärjestelmiin. Tutkimusten ja haastattelujen jälkeen aloitettiin varsinainen järjestelmän suunnittelu. Prototyyppeä tehtäessä suunnittelutyö elää ja muuttuu koko ajan, jotta paras mahdollinen ratkaisu löydettäisiin. Tämän vuoksi mitään asiaa ei voida varsinaisesti lyödä lukkoon ennen kuin järjestelmä on kokonaan valmis.

Vaikka projektin edetessä oli paljon viivytyksiä onnistui suunnittelu varsin hyvin. Tavoitteeseen ei viivytyksistä johtuen aivan päästy, mutta muuten työ oli hyödyllinen. The Switchin suunnittelemaat osat jäähdytysjärjestelmään saatiin mallinnettua lähes valmiiksi, mutta toimittajilta tulevat mallit jäivät valtaosin kesken. Kunhan toimittajilta saadaan valmiit mallit komponenteista, voidaan ne sovittaa jo valmiiden komponenttien kanssa yhteen. Testauksen jälkeen jäähdytysjärjestelmää kehitetään vielä lisää ennen lopulliseen sarjatuotantoon siirtymistä.

LÄHTEET

/17/ Ahvo Risto, Manager, Business Development and Project Management
15.1.2010. The Switch Controls and Converters, Hudson. Puhelinkeskustelu.

/1/ Alt dot energy. Kuva. [online]. [viitattu 30.3.2010].

Saatavilla www-muodossa:

<URL: <http://www.altdotenergy.com/2009/01/worlds-largest-solar-power-project-announced/>>

/2/ College of Engineering 2009. Solar Power Plant. [online]. [viitattu 10.2.2010].

Saatavilla www-muodossa:

<URL:<http://www.eng.fsu.edu/~shih/succeed2000/roadmap/solar%20power%20plant.htm>>

/14/ Desai Piyush, Technical Account Manager. The Switch Controls and Converters, Hudson. Sun Drive i1000 Design Document.

/15/ Desai Piyush, Technical Account Manager 5.3.2010. The Switch Controls and Converters, Hudson. Sähköpostikeskustelu.

/3/ Det Norske Veritas and Risø National Laboratory. 2002.

Guidelines for Design of Wind Turbines. 2nd Edition.

/4/ European PhotoVoltaic Industry. Global market outlook for photovoltaics until 2013. [online]. [viitattu 26.3.2010]. Saatavilla www-muodossa:

<URL: <http://www.epia.org/index.php?id=18>>

/5/ Fibox 2009. IP ja IK –luokitukset. [online]. [viitattu 12.2.2010].

Saatavilla www-muodossa:

<URL: <http://www.fibox.fi/default.asp?path=41;46;47;574>>

/6/ Fibox 2009. NEMA/UL –luokitukset. [online]. [viitattu 12.2.2010].

Saatavilla www-muodossa:

<URL: <http://www.fibox.fi/default.asp?path=41;46;47;573>>

/7/ Jantunen Mika, Technical Account Manager 10.2.2010. The Switch Drive Systems Oy. Haastattelu.

/8/ Opetushallitus 2009. Aktiivinen aurinkolämpö. [online]. [viitattu 10.2.2010]. Saatavilla www-muodossa:
<URL:http://www.edu.fi/oppimateriaalit/aurinko/aktiivinen_aurinkolampo/index.html>

/9/ Opetushallitus 2009. Auringon säteily. [online]. [viitattu 10.2.2010]. Saatavilla www-muodossa:
<URL:http://www.edu.fi/oppimateriaalit/aurinko/perustiedot_auringosta/auringon_sateily/index.html>

/10/ Opetushallitus 2009. Aurinkolämmön passiivinen hyödyntäminen. [online]. [viitattu 10.2.2010]. Saatavilla www-muodossa:
<URL:http://www.edu.fi/oppimateriaalit/aurinko/aurinkolammon_passiivinen_hyodyntaminen/index.html>

/11/ Opetushallitus 2009. Aurinkosähköjärjestelmän vaihtosuuntaaja. [online]. [viitattu 10.2.2010]. Saatavilla www-muodossa:
<URL:http://www.edu.fi/oppimateriaalit/aurinko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkojarjestelman_vaihtosuuntaaja/index.html>

/12/ Opetushallitus 2009. Aurinkosähköpaneeli. [online]. [viitattu 10.2.2010]. Saatavilla www-muodossa:
<URL:<http://www.edu.fi/oppimateriaalit/aurinko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkopaneeli/index.html>>

/13/ Opetushallitus 2009. Verkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmät. [online]. [viitattu 10.2.2010]. Saatavilla www-muodossa:
<URL:http://www.edu.fi/oppimateriaalit/aurinko/aurinkosahkojarjestelmat/verkkoon_kytkeytyt_aurinkosahkojarjestelmat/index.html>

/16/ Renewables 2007. Global status report. [online]. [viitattu 26.3.2010].

Saatavilla www-muodossa:

<URL: http://www.ren21.net/pdf/RE2007_Global_Status_Report.pdf>

/18/ Solarbuzz 2009. PV industry reports. [online]. [viitattu 15.2.2009].

Saatavilla www-muodossa:

<URL:<http://www.solarbuzz.com/Marketbuzz2009-intro.htm>>

/20/ The Switch 2009. About Us. [online]. [viitattu 15.1.2010].

Saatavilla www-muodossa:

<URL:http://www.theswitch.com/EN/Company/About_us>

/21/ The Switch 2009. Background. [online]. [viitattu 15.1.2010].

Saatavilla www-muodossa:

<URL:http://www.theswitch.com/EN/Company/About_us/Background>

/22/ The Switch 2009. Fuell cell applications. [online]. [viitattu 15.1.2010].

Saatavilla www-muodossa:

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

/23/ The Switch 2009. Full-power converters. [online]. [viitattu 15.1.2010].

Saatavilla www-muodossa:

<URL:http://www.theswitch.com/EN/Products/Wind_power/Fullpower_converters>

/24/ The Switch 2009. High-speed motors. [online]. [viitattu 15.1.2010].

Saatavilla www-muodossa:

<URL:http://www.theswitch.com/EN/Products/Industrial_applications/High-speed_motors>

/25/ The Switch 2009. Key facts. [online]. [viitattu 25.1.2010].

Saatavilla www-muodossa:

<URL:http://www.theswitch.com/EN/Company/About_us/Key_facts>

/26/ The Switch 2009. Logos. [online]. [viitattu 12.3.2010].

Saatavilla www-muodossa:

<URL: http://www.theswitch.com/EN/News/Media_center/Logos>

/27/ The Switch 2009. Organization. [online]. [viitattu 25.12.2010].

Saatavilla www-muodossa:

<URL: http://www.theswitch.com/EN/Company/About_us/Organization>

/28/ The Switch 2009. Product images. [online]. [viitattu 12.3.2010]. Saatavilla

www-muodossa:

<URL: http://www.theswitch.com/EN/News/Media_center/Images/Products>

/29/ The Switch 2009. Solar Power. [online]. [viitattu 25.1.2010].

Saatavilla www-muodossa:

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

/30/ Vacon Oy. Nestejäähdytteinen Vacon NXP. Kuva. [online].

[viitattu 30.3.2010]. Saatavilla www-muodossa:

<URL:<http://www.vacon.fi/Default.aspx?id=461940>>

/31/ Vacon Oyj 2009. Vacon NX nestejäähdytteinen taajuusmuuttaja. [online].

Päivitetty 21.11.2006 [viitattu 25.1.2010].

Saatavilla www-muodossa:

<URL:<http://www.vacon.fi/File.aspx?id=463583&ext=pdf&routing=396771&webid=396774&na>>