
Aurinkolämmönkeräimen telineen suunnittelu

Eero Saijonkari

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Eero Saijonkari	
Työn nimi Aurinkolämmönkeräimen telineen suunnittelu	
Päiväys 26.4.2011	Sivumäärä/Liitteet 39/3
Ohjaaja(t) lehtori Pertti Kupiainen, huoltopäällikkö Jarkko Lemmetty	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Riihimäen metallikaluste Oy	
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella säädettävä, mukautuva ja yksinkertainen teline aurinkolämmönkeräimille. Aihe on saatu Riihimäen metallikaluste Oy:ltä. Kallistuskulmaltaan kiinteät telineet aiheuttavat tehohukkaa, koska keräimiä ei voida suuntia optimaaliseen kulmaan auringon paisteen mukaan. Koneellisilla auringon seurantalaitteilla varustetut telinejärjestelmät ovat puolestaan niin kalliita, ettei niitä kannata hankkia esimerkiksi omakotitaloon.</p> <p>Suunnittelussa käytettiin luonnostelutekniikkaa eli tehtiin ensin useita erilaisia karkeita versioita. Näiden pohjalta lähdettiin suunnittelemaan tuotetta yksityiskohtaisemmin. Teline suunniteltiin 3D-ympäristössä Solid Works -ohjelmistolla. Rakennneosien mitoitus suoritettiin käyttämällä Ansys Workbench FEM -ohjelmaa sekä käsin laskentaa ja statiikan perusyhtälöitä.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksina saatiin telineen 3D-malli, tarvittavat valmistuspiirustukset sekä pääosien FEM-analysit. Laitteen suunnittelussa pyrittiin saamaan aikaan helposti valmistettava ja toimiva perusratkaisu.</p>	
Avainsanat aurinkoenergia, teräsrakenne, suunnittelu	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Eero Saijonkari			
Title of Thesis Designing of Solar Collector Stand			
Date	April 26, 2011	Pages/Appendices	39/3
Supervisor(s) Mr Pertti Kupiainen, M.Sc., Mr Jarkko Lemmetty, Service Manager			
Project/Partners Riihimäen metallikaluste Oy			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this project was to design adjustable, adaptable and simple stand for solar collectors. The project was commissioned by Riihimäen metallikaluste Oy. The need for this project came from the users of solar energy systems. The stands with an solid angle cause loss in the energy production. The angle must be adjustable to get the highest power from the system. The systems with sun tracking option are too expensive to be used in detached houses</p> <p>The designing was started with a sketching method. The big variety of sketches was made before the best version was chosen to development. The stand was designed in 3D- environment with a Solid works 3D- program. The dimensioning of the parts was accomplished by using the static calculations and Ansys Workbench- FEM program.</p> <p>The 3D- model and the blueprints of the product were made as a result of this study. The FEM analysis of the main parts was also made. The primary goal of this project was to develop a functional construction, which was successfully completed.</p>			
Keywords designing, solar energy, mechanics			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	7
2	TYÖN TAUSTAT	8
2.1	Riihimäen metallikaluste Oy.....	8
2.2	Rica Solar -aurinkolämpöjärjestelmät	8
3	AURINKOENERGIA.....	9
3.1	Aurinkoenergia yleisesti	9
3.2	Aurinkoenergian hyödyntäminen	10
3.2.1	Säteilytehon optimoiminen	10
3.2.2	Aurinkolämpö.....	11
4	TUOTESUUNNITTELUPROSESSI	13
4.1	Prosessin yleinen kulku.....	13
4.2	Materiaalin valinta	13
4.3	Luovuus ja suunnittelu	14
5	TELINEEN SUUNNITTELU	16
5.1	Lähtötiedot ja täytettävät vaatimukset	16
5.2	Yrityksen nykyiset telineet.....	16
5.3	Esiselvitys ja erilaisten telineratkaisujen selvittäminen	17
5.3.1	Rakenteen hahmottelu	17
5.3.2	Ulkonäkö ja materiaali	17
5.4	Keräimien mallinnus.....	18
5.5	Telineen luonnostelu	20
5.5.1	Luonnos 1	20
5.5.2	Luonnos 2	21
5.5.3	Luonnos 3	22
5.5.4	Luonnos 4	22
5.5.5	Luonnos 5	24
5.5.6	Lopullinen malli	26
6	TELINEESEEN KOHDISTUVIEN KUORMIEN MÄÄRITTELY	27
6.1	Pysyvät kuormat.....	27
6.2	Muuttuvat kuormat.....	27
6.2.1	Tuulikuorma standardin SFS EN 1991-1-4 mukaan.....	27
6.2.2	Lumikuorma standardin SFS EN 1991-1-3 mukaan.....	31
7	RAKENNEOSIEN MITOITUS	33
7.1	Putkikehikon tukireaktiot	33
7.2	Hitsien mitoituksen tarkistus	35
7.3	FEM-analyysi.....	36
8	VALMISTUSKUSTANNUSTEN LASKENTA	37

9 TULOKSET JA YHTEENVETO.....	38
LÄHTEET.....	39

LIITTEET

- Liite 1. Valmistuspiirustukset (poistettu tilaajan vaatimuksesta)
- Liite 2. Kehikon FEM-analyysi (poistettu tilaajan vaatimuksesta)
- Liite 3. Kustannuslaskelma (poistettu tilaajan vaatimuksesta)

Alkusanat

Kiitän työn onnistumisesta Savonia-amk:n lehtori Pertti Kupiaista, sekä Riihimäen metallikaluste Oy:n huoltopäällikkö Jarkko Lemmettyä. Erityiskiitokset kuuluu Rakennussuunnittelutoimisto Nylund Oy:n Hannu Kuokkaselle.

Kuopiossa 26.4.2011

Eero Saijonkari

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella helppokäyttöinen, mukautuva ja säädettävä teline aurinkolämmönkeräimien asennukseen. Tällä hetkellä markkinoilla olevat telineet ovat suurimmaksi osin kiinteitä, ja ne on usein suunniteltu jokaiseen kohteeseen erikseen. Kiinteät telineet aiheuttavat myös tehohävikkiä, koska keräintä ei voida suunnata optimaaliseen kulmaan auringon mukaan. Säädettävät automaattisilla seurantalaitteilla varustetut järjestelmät puolestaan ovat niin kalliita, ettei niitä kannata hankkia omakotitaloon.

Tavoitteena on suunnitella teline, joka soveltuu sellaisenaan kaikkiin yrityksen eri keräinmalleihin ja mahdollisimman monenlaisiin asennuskohteisiin, nostamatta kuitenkaan järjestelmän hankintakustannuksia merkittävästi. Työn toimeksiantaja on Riihimäellä toimiva Riihimäen metallikaluste Oy.

Opinnäytetyön keskeisiä tuloksia ovat telineen 3D-malli, rakenteen FEM-analyysi ja valmistuspiirustukset. Laitteesta tehdään myös kustannusarvio. Ennen suunnittelutyön aloittamista yrityksen keräimet mallinnetaan 3D-suunnitteluohjelmalla, jotta telineen suunnittelussa on alusta alkaen mukana siihen kiinnitettävät keräinmallit.

Alkutilanteen selvittämiseksi vierailaan rakennustyömaalla, jossa yrityksen lämpökeräimiä on asennettu entiseen tapaan kiinteästi. Vierailulla on tarkoitus kiinnittää huomiota nykytilanteen pahimpiin ongelmakohtiin.

2 TYÖN TAUSTAT

Aurinkoenergian hyödyntäminen on Suomessa muuhun Eurooppaan verrattuna melko vähäistä. Auringon säteilyteho on kuitenkin samaa luokkaa kuin esimerkiksi Saksassa, jossa aurinkoenergiaa käytetään huomattavasti Suomea enemmän. Aurinkokeräimet ovat perusrakenteeltaan yksinkertaisia ja suhteellisen halpoja. Tästä syystä niin omatekoiset kuin kaupallisetkin keräinlaitteistot ovat pikku hiljaa yleistymässä. Samalla kiinnitetään yhä enemmän huomiota keräinlaitteiston parhaaseen energian tuottoon eri vuodenaikoina.

2.1 Riihimäen metallikaluste Oy

Riihimäen metallikaluste on Riihimäellä toimiva metallituotteita valmistava keskisuuri yritys. Yrityksen päätoimiala jakaantuu kolmeen osa-alueeseen: lämmitysjärjestelmät, auditoriokalusteet ja istuimet. Yritys tekee myös muita metallialan töitä alihankintana. Riihimäen metallikaluste Oy:n tuotteiden markkinointinimi on Rica. Vuonna 2010 yrityksen liikevaihto oli 4,3 miljoona euroa ja henkilöstömäärä 29. (Riihimäen metallikaluste Oy, 2011.)

2.2 Rica Solar -aurinkolämpöjärjestelmät

Yrityksen aurinkoenergiatuotteisiin kuuluvat tyhjiöputki- ja tasokeräimet, aurinkovaraajat, ohjausjärjestelmät ja tarvikkeet. Keräinmalleja on kolme, joista TP48 ja TP69C ovat tyhjiöputkikeräimiä ja TK25 tasokeräin. Numeroarvo tarkoittaa keräimen absorptiopinta-alaa neliömetreinä kerrottuna kymmenellä. Rica Solar -aurinkolämpöjärjestelmät on suunniteltu asennettavaksi päälämmitysmuodon rinnalle kiinteistön tai käyttöveden lämmitykseen. (Riihimäen metallikaluste Oy, 2011.)

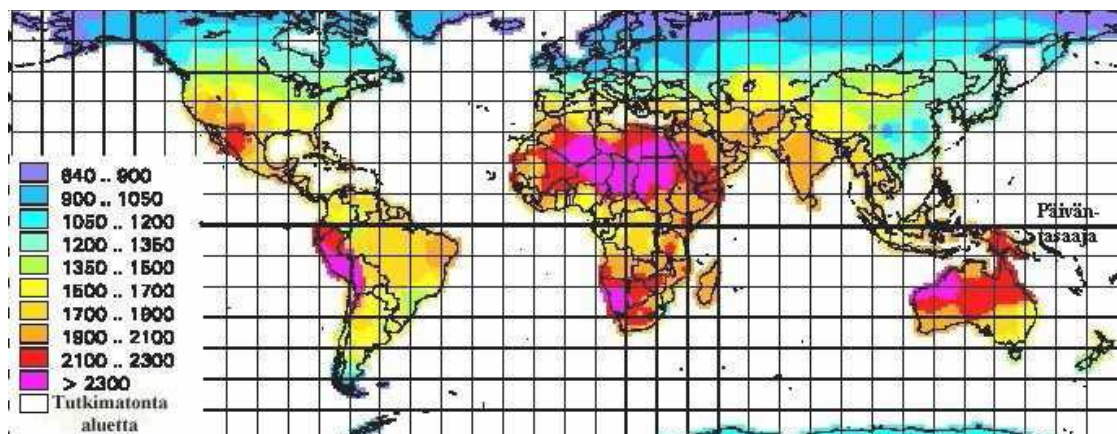
3 AURINKOENERGIA

3.1 Aurinkoenergia yleisesti

Auringon tuottama energia perustuu fuusioon, jossa 2 vetyatomien ydintä, 2 protonia ja 2 neutronia yhtyvät heliumatomien ytimeksi. Yksi kilogramma vedystä muodostettua heliumia vastaa energiamäärältään 27 000:ta tonnia kivihiltä, joka puolestaan tuottaa energiaa 180 miljoonaa kWh. Auringon kokonaisteho on $3,8 \cdot 10^{23}$ kW, josta maapallolle tulee $1,7 \cdot 10^{14}$ kW. Määrä on noin 20 000-kertainen verrattuna koko maapallon tämänhetkiseen tehontarpeeseen. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola & Suokivi 2008, 10.)

Energiamäärää, joka tulee auringosta yhden sekunnin aikana ilmakehän rajalla olevalle yhden neliömetrin kokoiselle alueelle, kuvaa aurinkovakio. Maapallon ja auringon välisen etäisyyden mukaan arvo on 1,35 - 1,39 kW. Auringon säteilystä aiheutuvaa energiamäärää maan pinnalla puolestaan kuvaa välitön aurinkovakio. Sen arvo on 0,8 - 1,0 kW/m². (Erat ym. 2008, 11.)

Auringon säteily ei kuitenkaan ole pelkästään suoraa säteilyä, vaan osa säteilystä on haja- ja ilmakehän vastasäteilyä. Hajasäteilyä aiheuttavat mm. ilmakehän molekyylit ja pilvet. Vastasäteilyä puolestaan aiheuttavat ilmakehän vesihöyry, otsonikerros sekä hiilidioksidi. Koska säteilyä on kolmenlaista, saadaan kokonaissäteilyenergia summaamalla nämä yhteen ja vähentämällä energia, joka heijastuu takaisin avaruuteen. Säteilyn teho vuodessa on Suomessa noin 1 000 kWh/m². Säteilyn vuotuinen teho maailmanlaajuisesti on esitetty kuvassa 1. (Erat ym. 2008, 12.)



KUVA 1. Auringon säteilyn vuosittainen saanti maapallolla [$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$]. (Väkeväinen, J. 2005, 32)

3.2 Aurinkoenergian hyödyntäminen

Koska auringon säteilyn suunta muuttuu vuodenajan mukaan, on säteilyn talteenoton tehostamiseksi kiinnitettävä huomiota keräyslaitteiston suuntaukseen. Laitteen suuntauksessa merkittäviä kulmia ovat kallistuskulma ja atsimuuttikulma. Kallistuskulma tarkoittaa vaakatason ja laitteen välistä kulmaa ja atsimuuttikulma poikkeamaa eteläsuunnasta. (Erat ym. 2008, 15.)

3.2.1 Säteilytehon optimoiminen

Aurinkokeräinlaitteisto tulee sijoittaa mahdollisimman varjottomaan ja aukeaan paikkaan. Laitteisto suunnataan yleensä kohti etelää eli päiväntasaajan suuntaisesti. Jos eteläsuunnassa on kuitenkin varjostavia taloja tai puita, voidaan laitteisto suunnata myös itään tai länteen. Tällöin energiantuotto ei kuitenkaan ole yhtä hyvä.

Myös järjestelmän kuormitettavuuden vaihtelu vuorokauden ajan mukaan tulee ottaa huomioon. Jos kuormitushuippu on esimerkiksi illalla, kannattaa laitteisto suunnata länteen, jolloin saadaan paras mahdollinen teho illalla.

Paras teho keräinlaitteella saadaan, kun auringonsäteiden tulokulma on 0 eli säteet tulevat kohtisuoraan keräinpintaa vastaan. (Erat ym. 2008, 15.)

Laitteiston kallistuskulmaa tulee myös säätää vuodenajan mukaan, koska aurinko paistaa eri korkeuksilta eri vuodenaikoina. Kiinteissä asennuksissa paras kallistuskulma on sama kuin sijainnin leveyaste. Tällöin saadaan keskipäivällä kesäaikaan paras teho. Taulukossa 1 on esitetty eri kallistuskulmien vaikutus säteilytehoon eri vuodenaikoina. (Erat ym. 2008, 15.)

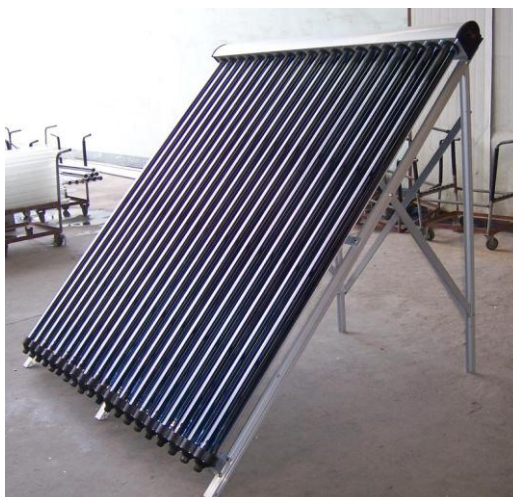
TAULUKKO 1. Eri kallistuskulmilla saatava säteily/vrk $\left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\right]$. (Erat ym. 2008, 11)

Kuukausi	30°	45°	90°
Tammikuu	0,4	0,5	0,5
Helmikuu	1,5	1,8	1,9
Maaliskuu	3,1	3,4	3,2
Huhtikuu	4,4	4,5	3,4
Toukokuu	5,9	5,7	3,7
Kesäkuu	6,6	6,3	3,9
Heinäkuu	5,7	5,5	3,6
Elokuu	5,0	5,0	3,6
Syyskuu	3,3	3,5	3,0
Lokakuu	1,6	1,8	1,7
Marraskuu	0,5	0,5	0,5
Joulukuu	0,4	0,5	0,6

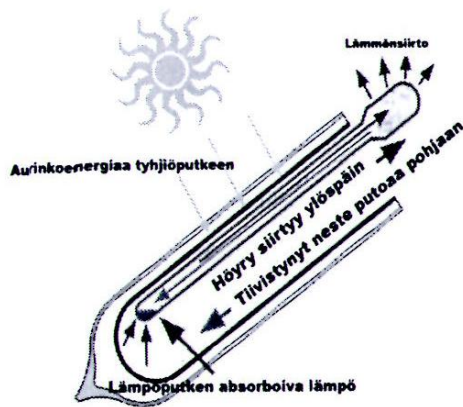
3.2.2 Aurinkolämpö

Aurinkoenergiaa otetaan lämmitysjärjestelmissä talteen aurinkokeräimillä. Aurinkokeräimet voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: nestekiertoisiin ja ilmakiertoisiin keräimiin. Nestekiertoiset keräimet voidaan edelleen jakaa taso- ja tyhjiöputkikeräimiin. Kuvassa 2 on 20-putkinen nestekiertoinen Rica-tyhjiöputkikeräin TP69C.

Tyypillisen tyhjiöputkikeräimen keskeisin osa on putken sisällä sijaitseva heat-pipe, jossa neste höyrystyy ja luovuttaa sitomaansa lämpöä pumpun kierrättämään keuruunesteeseen. Heat-pipe-tyyppisen putken rakenne on esitetty kuvassa 3. Putken tyhjiö on eriste, jonka tarkoitus on estää ulkoilman lämpötilanvaihtelujen vaikutus energiantuottoon. (Erat ym. 2008, 73.)

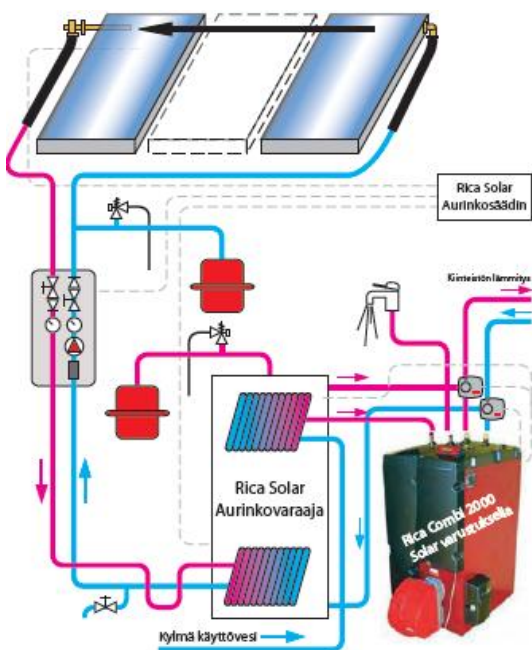


KUVA 2. Tyhjiöputkikeräin TP69C. (Valokuva Riihimäen metallikaluste Oy, 2010)



KUVA 3. Heat-pipe-tyyppinen tyhjiöputki. (Erat ym. 2008, 73)

Keruunesteestä lämpö siirretään edelleen käyttöveteen tai lämmitykseen varaajan avulla (kuva 4). Tasokeräimissä on tumma tasopinta, joka absorboi säteilyä. Absorbtiopinnasta lämpö siirtyy siirtoaineeseen, joka voi olla nestettä tai ilmaa. Nestekiertoisissa järjestelmissä voidaan käyttää vettä, mikäli jäätymisen vaaraa ei ole. Alhaisemmassa lämpötilassa käytettävissä järjestelmissä käytetään esimerkiksi vesipropyleeniglykoli-liuosta. Ilmakiertoisissa järjestelmissä toiminta on samanlainen kuin nestekiertoisissa. Ainoastaan siirtoaineena on ilma. Ilmakiertoisen järjestelmän etuja ovat mm. lämpötilanvaihtelujen sietokyky ja turvallisuus (ei nestevuotoja vikatilanteissa). (Erat ym. 2008, 73 – 78.)



KUVA 4. Järjestelmän kytkentä. (Riihimäen metallikaluste Oy 2011)

4 TUOTESUUNNITTELUPROSESSI

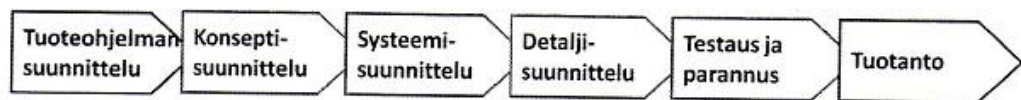
4.1 Prosessin yleinen kulku

Tuotesuunnittelua voidaan ajatella innovaatioprosessina, joka voidaan jakaa osakokonaisuuksiin. Nykyään tuotteen suunnittelu lähtee usein asiakkaan tarpeesta, joka pyritään tyydyttämään jollakin tuotteella. Koska prosessityyppejä on erilaisia, tulee ensin tunnistaa, minkä luonteisesta prosessista on kysymys. Prosessi voi olla esimerkiksi markkinavetoinen, teknologiatyöntöinen tai suuren riskin prosessi.

Prosessityypit voidaan jakaa niiden luonteen perusteella esimerkiksi kuvan 5 mukaisesti. Kyseinen malli on Ulrich-Eppingerin malli ja siinä prosessi on jaettu kuuteen eri vaiheeseen, joiden mukaisesti valmis tuote saadaan markkinoille.

(Hietikko 2008, 41 – 43.)

Tuoteohjelman suunnittelussa asetetaan projektin suuret linjat ja tehdään esiselvitystyö. Konseptisuunnittelussa selvitetään asiakastarve. Tästä siirrytään ideointiin ja luonnosteluun, jonka tuloksena saadaan paras vaihtoehto jatkokäsittelyyn. Systemisuunnittelussa kiinnitetään huomiota mallin arkkitehtuuriin ja pyritään tavoittamaan mahdollisimman suuri asiakaskunta esimerkiksi moduloinnin keinoilla. Tuotteen lopullinen muoto selviää detajisuunnittelussa, jonka aikana määritellään usein myös materiaalit ja valmistuskustannukset. Detajisuunnittelun jälkeen tuotteesta tehdään prototyyppi, jota testataan tuotteen todellisen toiminnan selvittämiseksi. Tämän jälkeen tehdään mahdolliset parannukset ja tuote on valmis markkinoille. (Hietikko 2008, 43.)



KUVA 5. Ulrich-Eppingerin malli. (Hietikko 2008, 42)

4.2 Materiaalin valinta

Materiaalin huolellinen valinta on yksi tuotesuunnittelun tärkeimmistä osa-alueista. Erilaisiin materiaalivaihtoehtoihin tulee kiinnittää huomiota jo prosessin alkuvaiheessa ja koota kaikki vaatimukset, jotka materiaalin tulee täyttää. Usein valinnassa turvautaan perinteisiin ja hyväiksi todettuihin ratkaisuihin, vaikka materiaalitekniikka kehittyy jatkuvasti. Esimerkiksi joissakin terästuotteissa voisi ajatella materiaalin vaihtamista kokonaan toisentyypiseen, kuten esimerkiksi komposiittiin.

Useimmiten materiaalin valintaa rajoittaa eniten hinta. Paljon käytetty ja hyväksi todettu materiaali on usein myös halpa, joten se on perusteltu vaihtoehto valinnalle. Myös logistiset kustannukset ovat merkittävä rajoittava tekijä. Jos hyvää ja halpaa saa kaiken lisäksi läheltä, on ratkaisu vieläkin perustellumpi.

Perinteisessä teräsrakentamisessa materiaalin valinnan kriteereinä ovat usein lujuus ja sitkeys suhteessa hintaan ja painoon. Jos painon vähennys on tuotteen kannalta edullista, on syytä tarkastella kevyempien materiaalien kuten alumiinin käytön mahdollisuutta. Materiaalin valinta on kuitenkin aina kompromissi, jossa tulisi löytää sopivin ratkaisu vaadittavien mekaanisten ominaisuuksien ja kustannusten väliltä.

4.3 Luovuus ja suunnittelu

Luovan ongelmanratkaisun ja ideoinnin peruslähtökohta on prosessiin osallistuvien ihmisten avoimuus ja positiivinen asenne uusia ideoita kohtaan. Kun kehitettävä tuote irrotetaan ajatuksen tasolla siihen perinteisesti liitettävistä olettamuksista, ja lähestytään asiaa aivan toisesta suunnasta, saatetaan saada täysin uudenlaisia ja kekseliäitä ratkaisuja. Prosessi alkaa kehitettävän asian tunnistamisesta, jonka jälkeen määritellään tavoitteet. Tavoitteeseen päästään ideoimalla, arvioimalla ja lopulta päättämällä. (Hietikko 2008, 85.)

Alitajuinen ajatustyö ja intuitio ovat merkittäviä tekijöitä luovuudessa. Varsinkin luonnosteluvaiheessa on hyvä tehdä useita erilaisia ratkaisumalleja täysin ajatuksen tulvana. Intuitiivisen ratkaisuprosessin vaiheet voidaan jakaa neljään päävaiheeseen, jotka ovat:

- Aiheeseen perehtyminen
- Heuristinen piste
- Asian hautuminen
- Heureka piste

(Tuomaala 1995, 20 - 21.)

Koneensuunnitteluun sovellettuna aiheeseen perehtyminen merkitsee lähtötietojen, tavoitteiden ja muiden reunaehtojen selvittämistä. Heuristinen piste on vaihe, jossa luovuus saa alkusysäyksen. Koneensuunnittelussa tämä voi tarkoittaa tehtävän tavoitteiden ymmärtämistä ja erilaisten ratkaisumallien läpikäyntiä suuripiirteisesti. Tämän jälkeen asia jätetään hautumaan, jolloin alitajunta käsittelee saamiensa tietoja ja pyrkii haluttuun lopputulokseen. Kun aika on kypsä ja tuloksien tarpeen synnyttämä jännite on riittävän voimakas, syntyy oivaltamisen elämys.

(Tuomaala 1995, 20 - 23.)

Vaikka intuitiivisella menettelyllä voidaan saada innovatiivisia ratkaisuja, ei sitä voida soveltaa insinööritieteissä suoraan ja yksinään. Jos luonnosteluvaiheessa luotetaan pelkästään intuitioon ja uskotaan ensimmäisen mieleen tulevan ratkaisun olevan paras, ei todennäköisesti saada kovin hyvää lopputulosta. Intuitiivisesti saatuja tuloksia tulee vertailla ja arvioida systemaattisesti ja tehdä eri luonnoksia. Luonnoksista voidaan näin valita lopputuloksen kannalta paras vaihtoehto jatkokäsittelyyn.

5 TELINEEN SUUNNITTELU

5.1 Lähtötiedot ja täytettävät vaatimukset

Telineen suunnittelu lähti liikkeelle lähtötietojen ja reunaehtojen selvityksellä. Koska telineen ei haluttu tuottavan merkittäviä lisäkustannuksia aurinkolämpöjärjestelmän hankintaan, tuli tärkeimmäksi reunaehdoksi edullinen hinta. Tämä puolestaan sulki pois telineeseen suunniteltavan mahdollisen automatiikan. Keräimen kallistuskulma tuli olla säädettävissä optimaalisen tehon saavuttamiseksi eri vuodenaikoina. Rakenteen kiinnityspisteet tuli suunnitella neljään pisteeseen siten, että se voidaan kiinnittää yhdellä pultilla nurkista suoraan esim. kattorakenteeseen tai U-pulteilla erilliseen palkkirakenteeseen.

5.2 Yrityksen nykyiset telineet

Aikaisemmin yrityksen lämpökeräimiä on asennettu lähinnä kiinteästi, ja käytettävät telineet ja kiinnitysmenetelmät on tällöin suunniteltu tapauskohtaisesti. Telineerakenteena on käytetty mm. hitsattuja rakenneputkikehikkoja (kuva 6). Yrityksellä on myös alumiiniprofiilirakenteisia tasa- ja harjakaton malleja (kuva 2).



KUVA 6. Kiinteään kulmaan asennettuja keräimiä nollaenergiatalo Kuopaksen katolla. Suokatu 14 Kuopio (Valokuva Eero Saijonkari 2011)

TAULUKKO 2. Telineen alkuehdot.

- Kolmelle eri keräintyyppille soveltuva (TP69C, TP48C, TH25)
- Mukautuva
- Kiinnitys neljästä pisteestä
- Mekaaninen (ei automatiikkaa)
- Keräimen kulma säädettävissä
- Yksinkertainen asentaa ja käyttää
- Edullinen

5.3 Esiselvitys ja erilaisten telineratkaisujen selvittäminen

5.3.1 Rakenteen hahmottelu

Telineen tulevan rakenteen hahmotteleminen lähti liikkeelle olemassa olevien telineiden tarkastelusta ja niiden hyvien ja huonojen ominaisuuksien tunnistamisesta. Keräimen kallistuskulman laaja säädettävyys sulki pois useita eri vaihtoehtoja. Koska keräin on alttiina varsin suurille tuulikuormille, tuli myös rakenteen riittävään jäykkyyteen kiinnittää alusta asti huomiota. Myös valmistustekniset rajoitukset oli pidettävä mielessä telineen materiaaleja ja komponentteja valittaessa.

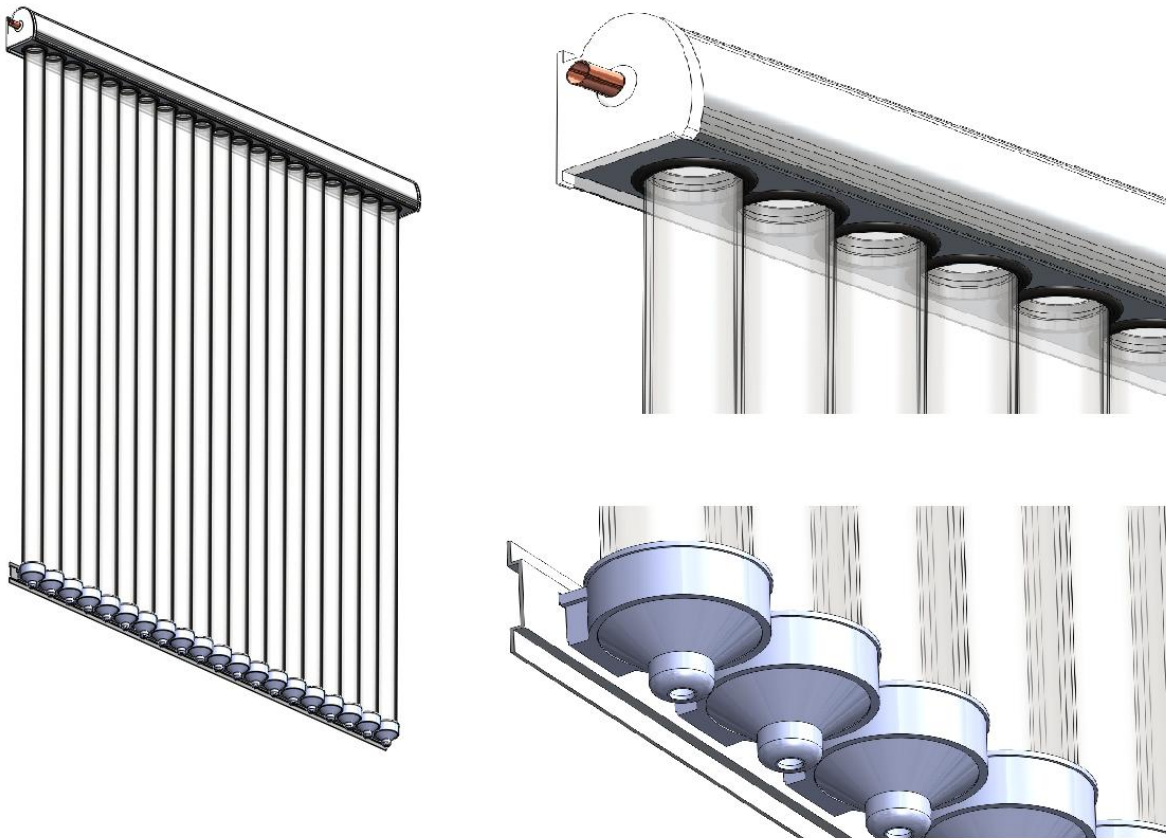
5.3.2 Ulkonäkö ja materiaali

Koska kyseessä on tuote, joka tulee asennettavaksi talon tai kiinteistön julkisivulle, piti myös telineen visuaaliset ominaisuudet ottaa huomioon. Tällöin hyvinkin toimiva, mutta ulkonäöltään epäesteettinen ratkaisu ei olisi markkinointimielessä kannattava. Visuaalisuudesta ja toimivuudesta tuli etsiä sopiva kompromissi unohtamatta laitteen turvallisuutta.

Pääasialliset materiaalivaihtoehdot olivat alumiini ja rakenneteräs. Alumiinin etuna olisi ollut lähinnä keveys. Korkeat lujuusvaatimukset puolsivat kuitenkin alusta alkaen rakenneteräksen käyttöä eikä rakenteen painokaan noussut liian korkeaksi. Teräksen tarkempi laatu ja lujuus selvisivät myöhemmin laskennan ja FEM-analyysin yhteydessä. Materiaaliksi valittiin Ruukki Oyj:n rakenneteräs S355J2H.

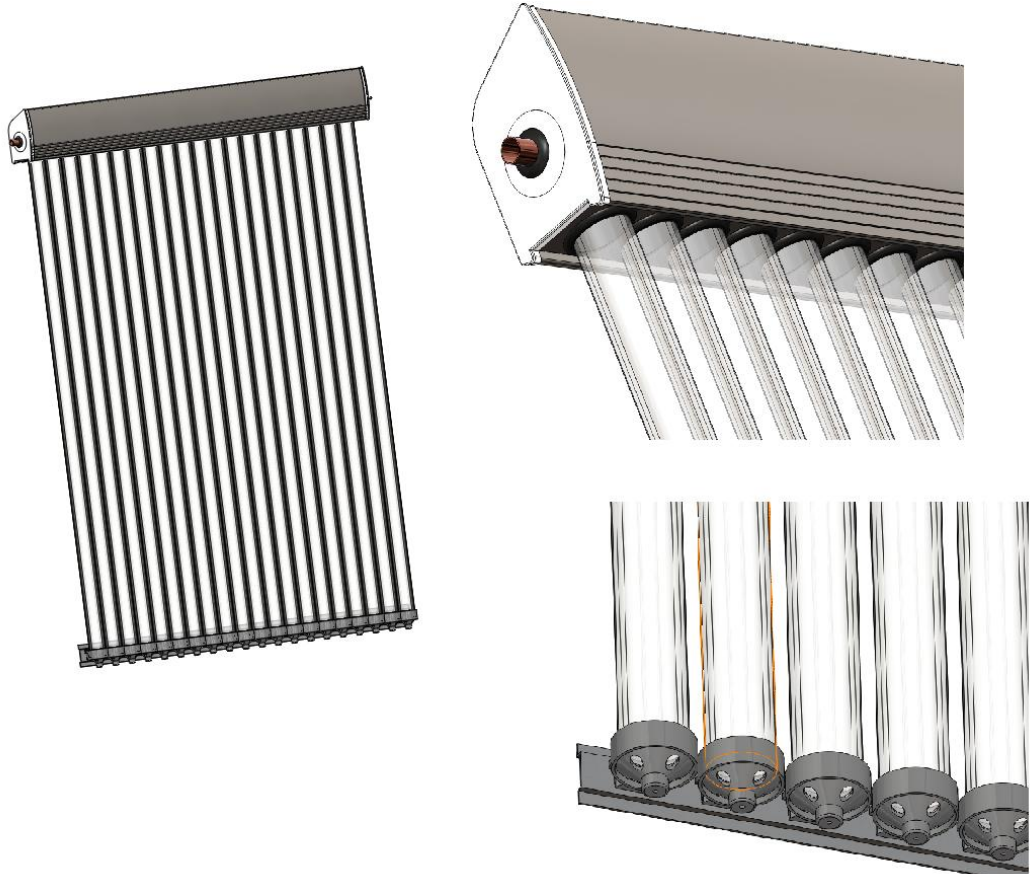
5.4 Keräimien mallinnus

Työ aloitettiin tekemällä 3D-mallit TP48 ja TP69C-keräimistä. Tasokeräinmallia ei tuolloin ollut saatavilla mallinnusta varten, joten sen kiinnityspisteet otettiin suunnittelussa huomioon mittakuvan perusteella. Suunnitteluohjelmistona työssä käytettiin Solid-Works 3D -ohjelmaa. Keräimet mallinnettiin perinteiseen tapaan mittaamalla ja mallintamalla osa osalta. Osista tehtiin lopuksi kokoonpanot, jotka on esitetty kuvissa 7 ja 8.



KUVA 7. TP69C-keräimen 3D-malli.

Keräinkokoonpanosta mallinnettiin lähinnä ulospäin näkyvät osat. Rakenteen sisällä olevien osien, kuten nestekiertoelinjan tai tyhjiöputken heat-pipen mallinnus ei tässä työssä ollut oleellinen tehtävä. Tyhjiöputket mallinnettiin sisäosiltaan arvioimalla lasin vahvuus ja muut mitat. Heat-pipesta ja nestekiertoelinjasta mallinnettiin vain näkyvät osat. Tyhjiöputkien alapään kiinnitys pidettiin aiemman ratkaisun mukaisena. Putket on kiinnitetty alapäästään muoviholkeilla alumiiniseen kiinnityspalkkiin.



KUVA 8. TP48-keräimen 3D-malli.

5.5 Telineen luonnostelu

Telineen tulevan rakenteen ja muotoilun suhteen annettiin varsin vapaat kädet, kunhan lähtötiedoissa vaaditut alkuehdot tulisi täytettyä. Työhön lähdettiin siis lähes tyhjältä pöydältä, koska olemassa ei ollut vastaavilla ominaisuuksilla olevaa aikaisempaa mallia. Visuaalisten vaatimusten tunnistaminen antoi myös oman innoituksensa luovuudelle. Kuitenkin vaadittavat lujuusominaisuudet suhteessa halpaan valmistukseen muodostivat rajoittavia tekijöitä.

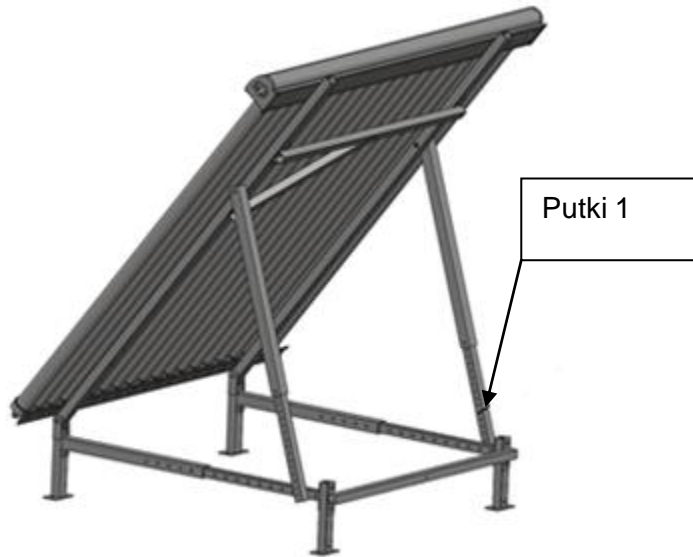
Telineen tulevan rakenteen hakeminen aloitettiin luonnostelemalla ruutupaperille erilaisia runkovaihtoehtoja ja kulman säätömekanismeja. Tämän jälkeen versioista karstiin pois selkeästi toteuttamiskelvottomat mallit ja keskityttiin parantelemaan kehityskelpoisia versioita. Paperilta siirryttiin varsin varhaisessa vaiheessa luonnostelevaan osia SolidWorks 3D -ohjelmalla, koska mittasuhteita ja mekaniikkaa on helppo käsitellä kolmiulotteisesti.

Luonnostelussa käytettiin teoriaosassa käsitellyä intuitiivista ajatuksen virtaa. Ensimmäisten luonnosten ei siis ollut tarkoituskaan olla sellaisenaan valmiita, vaan niistä tuli ammentaa ideoita edelleen seuraaviin luonnoksiin. Perusrakenne muovautui kuitenkin varsin nopeasti, kun täysin mahdottomista ideoista päästiin eteenpäin.

Suunnitteluprosessissa käytettiin kappaleessa 4.1 esitettyä Ulrich-Eppingerin mallia. Tavoitteena oli edetä tuoteohjelman suunnittelusta detaljisuunnitteluun asti. Testaus ja tuotantoon otto jäi opinnäytetyön ulkopuolelle, koska se olisi vaatinut prototyypin valmistusta, eikä siihen ollut tässä työssä mahdollisuutta.

5.5.1 Luonnos 1

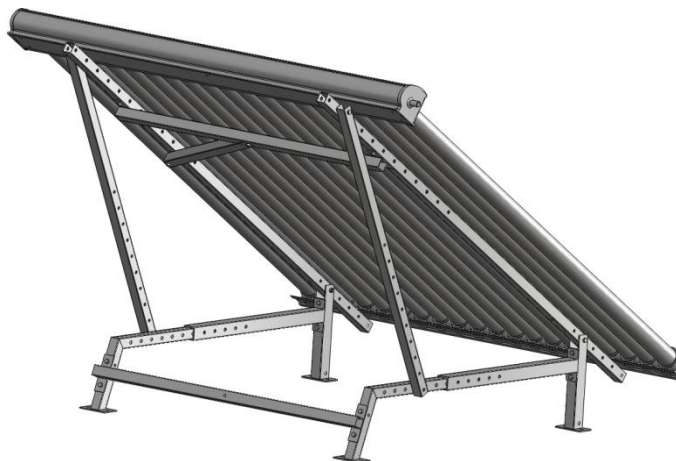
Ensimmäisenä 3D-mallina syntyi kuvan 9 mukainen luonnos. Runko on rakennete-räspuutkea ja kulman säätö tapahtuu sisäkkäin menevillä putkilla, joissa on reikiä eri kulmille. Pienillä kulmilla kuitenkin putket 1 jäisivät turhiksi. Säädettäessä oikea kulma pitäisi etsiä neljästä eri pisteestä, ja laite on myös kokonaisuutena kömpelön näköinen.



KUVA 9. Luonnos 1.

5.5.2 Luonnos 2

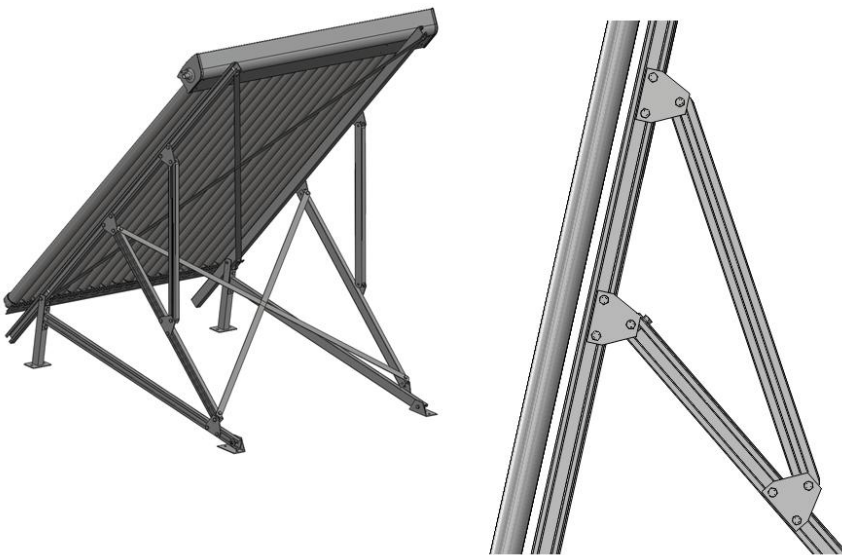
Pienillä muutoksilla päästiin kuvan 10 mukaiseen rakenteeseen, jossa toiset säätöputket on karsittu pois. Vaikka rakenne olisi muuten saattanut toimia, olisi kulman säätö edelleen ollut hankalahkoa. Reikäyhdistelmien moninaisuus olisi sallinut tukien asentamisen epäedullisiin asentoihin, jolloin rakenteen jäykkyys ei olisi välttämättä enää riittävä. Mallien 1 ja 2 visuaalinen ilme ei myöskään ollut paras mahdollinen. Ensimmäisen luonnoksen jälkeen myös alkuehtoja tarkennettiin ja jalkojen pituus-suuntainen säätö jätettiin tarpeettomana pois.



KUVA 10. Luonnos 2.

5.5.3 Luonnos 3

Kahden ensimmäisen version jälkeen syntyi ajatus kulman portaattomasta säädöstä, joka toteutettaisiin kuvan 11 mukaisella C-profiili kiskomekanismilla. Telineen 3 ongelma oli kuitenkin edelleen kulman säädön vaikeus. Tässä mallissa olisi joutunut löysäämään jopa 16 pulttia kulman säätämiseksi. Lisäksi toistensa suhteen liukuvia osia olisi tullut paljon, joten valmistuskustannukset olisivat nousseet huomattavasti. Liukuvien osien yksityiskohtainen suunnittelu olisi myös vaatinut varsin paljon lisätyötä ja lopputulos olisi silti ollut turhan monimutkainen.



KUVA 11. Luonnos 3.

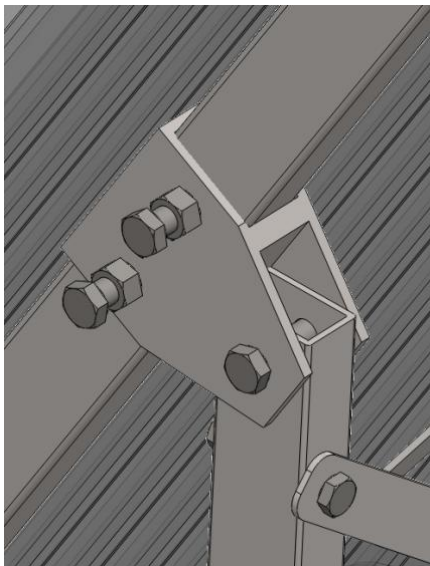
5.5.4 Luonnos 4

Luonnoksen 3 pohjalta syntyi hieman samantapainen, mutta yksinkertaisempi ja toimivampi ratkaisu. Kuvan 12 telineessä 4 kulman säätö on edelleen portaaton. Säätö toteutettiin kuvan 13 mukaisesti hahlolla, joka liikuu suorakaiteen muotoisen rakenneputken päällä. Hahlo kiristetään haluttuun kulmaan M12-pulteilla, joita on yhteensä neljä. Rakenteen vinoutueta on toteutettu ristikkäisillä lattaterästuilla. Telineen etujalkojen rakennetta on myös jäykistetty pitkittäistuilla, joihin on kiinnitetty myös poikittaistuki. Sivusuuntainen jäykkyys on varmistettu ristikkäisillä tuilla.



KUVA 12. Luonnos 4.

Luonnoksessa 4 kulman säätö oli 0 – 70 astetta. Yli 70 asteen kulmilla tukipisteiden tulisi olla korkeammalla riittävän jäykkyyden takaamiseksi. U-pulttikiinnitystä voidaan käyttää esimerkiksi telineen kiinnittämiseen poikittaiseen palkkiin. Etupuolen jalat oli U-profiilia jolloin profiilin uuma olisi toiminut samalla kallistuskulman rajoittimena. Tällöin telinettä ei voida asentaa liian suureen kulmaan. Jalka suunniteltiin kiinnitettäväksi pituussuuntaiseen kannatinputkeen hitsausliitoksella.

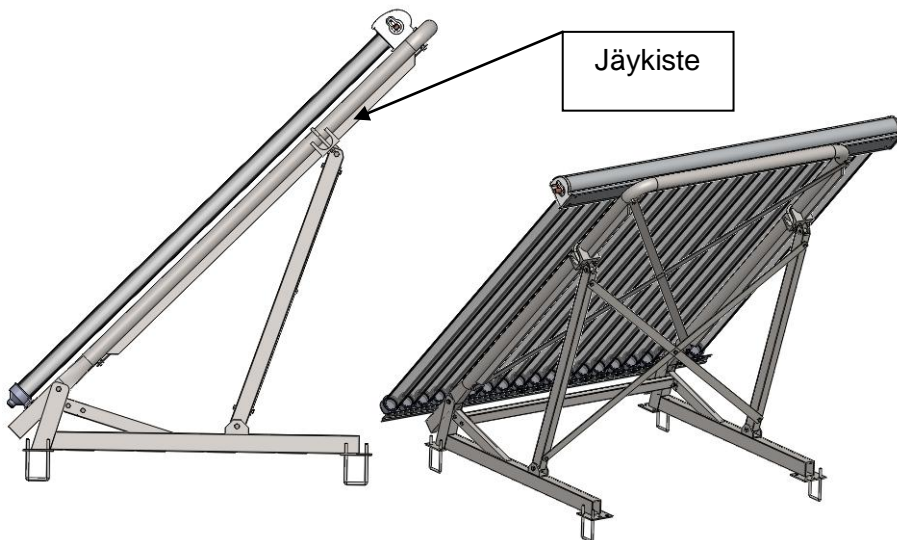


KUVA 13. Säätömekanismi.

Telineen 4 toimintaperiaate ja perusrakenne hyväksyttiin yrityksen katselmoinnissa, mutta siihen tuli edelleen tehdä muutoksia parhaan toimivuuden takaamiseksi. Todettiin, että liukumekanismi tulisi suunnitella järkevämmäksi niin toiminnan kuin kokoonpanonkin kannalta. Kuumasinkityksen vuoksi liukuviin osiin olisi pitänyt saada väljyyttä, jotta rakenne toimisi kunnolla. Myöskään kiristysmekanismi ei olisi paras mahdollinen, koska kiristysruuvit pyrkisivät painamaan putken lommolle ja siten aiheuttaisivat mahdollisesti kiinnityksen löystymisen. Myös koko rakenteen sivuttaissuuntaista jäykkyyttä tuli vahvistaa.

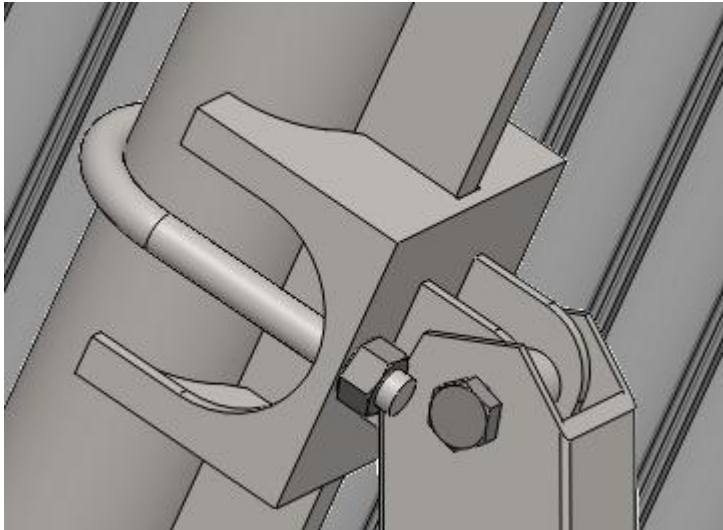
5.5.5 Luonnos 5

Luonnoksen 4 pohjalta syntyi jälleen seuraava versio (kuva 14). Peruskehikko, johon keräin kiinnitetään, toteutettiin taivutetulla pyöreällä putkella. Tätä ratkaisua puolsi kehyksen jäykkyys, yksinkertaisuus ja helppo valmistettavuus. Putki muokauslujittuu, kun sitä taivutetaan, ja rakenteen jäykkyys paranee joka suuntaan. Saranoinnin kohdalta putki on litistetty muotoon, jotta saadaan reikien porauksen kannalta parempi tasopinta. Säättömekanismia muutettiin myös uuden perusrakenteen vuoksi. Putkikehikon muotoinen panta kiristetään valittuun paikkaan U-pulttikiinnityksellä. Panta suunniteltiin kotelorakenteeksi, jonka ansiosta se kestää taipumatta suurenkin kiristysvoiman. Ratkaisu on hyvä, koska kiristykseen käytettävä pinta-ala on huomattavasti suurempi ja tasainen eikä pistemäinen kuten edellisessä versiossa.



KUVA 14. Luonnos 5.

Viidennen version luonnosteluvaiheessa kiinnitettiin jo huomiota rakenneosien lujuustekniseen mitoitukseen. Rakenteeseen kohdistuvat voimat oli määritetty, ja sen kestävyttä tarkasteltiin Ansys Workbench -ohjelmalla. Kehikon yläpään taipuma maksimi kuormalla osoittautui haasteeksi. Vaikka rakenteen jännitykset pysyivätkin pahimassa kuormitustilanteessa sallituissa rajoissa, saattaisivat lasiset tyhjiöputket rikoontua liiallisen taipuman takia. Tästä syystä kehikkoon piti suunnitella erillinen jäykiste taipuman pienentämiseksi. Kuvasta 15 nähdään jäykisteen vaatimat rakenteelliset muutokset.



KUVA 15. Säätömekanismi 2.

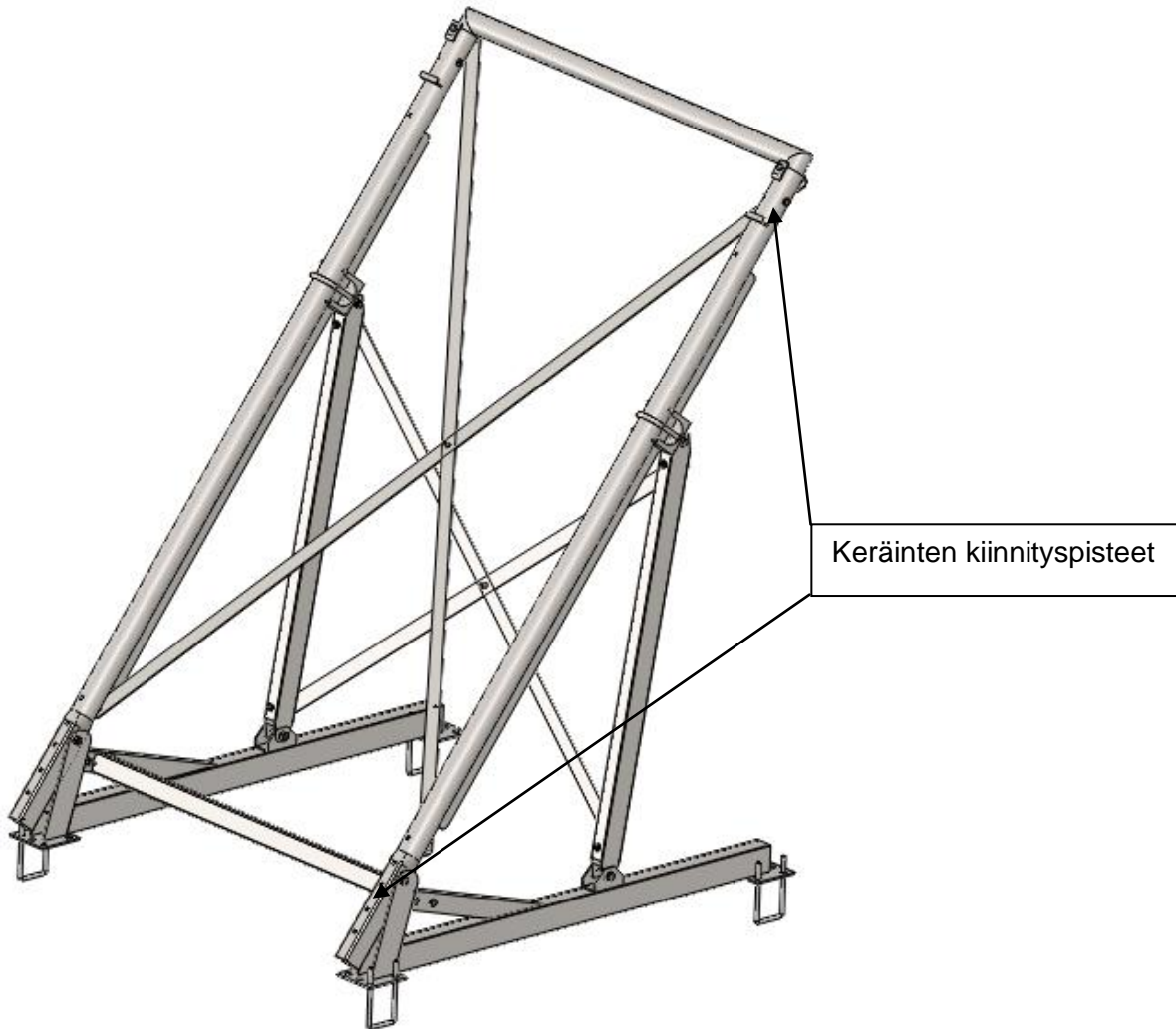
Logististen näkökohtien vuoksi putkikehikon yläpää suunniteltiin vielä uudelleen. Kehikko veisi kuljetuksessa varsin paljon tilaa, jos se taivutettaisiin yhdestä putkesta. Tästä syystä yläpäähän suunniteltiin hitsattu kulma ja kiinnitys pystyputkiin pulttiliitoksella (kuva 16).



KUVA 16. Kehikon yläpään kiinnitys.

5.5.6 Lopullinen malli

Edellisessä kappaleessa käsiteltujen muutosten jälkeen suunniteltiin kiinnityspisteet kaikille eri keräinmalleille. Lopullinen malli on kuvan 17 mukainen. Koska TP69C-keräimen yläkiinnityskannakkeet tulisivat TP48-keräimen kiinnityksessä tielle, tulee kehyksen pystyputket valmistaa molemmille putkikeräimille erikseen. Muut osat käyvät kaikille keräinmalleille sellaisenaan.



KUVA 17. Lopullinen malli.

6 TELINEESEEN KOHDISTUVIEN KUORMIEN MÄÄRITTELY

6.1 Pysyvät kuormat

Pysyviin kuormiin kuuluu tässä tapauksessa ainoastaan keräimen omakuorma. Telineen omakuorma on niin vähäinen, ettei sillä ole laskennan kannalta merkitystä. Omakuorma määritellään raskaimman keräimen, eli TP69C:n mukaan. Keräimen paino on 60 kg.

6.2 Muuttuvat kuormat

6.2.1 Tuulikuorma standardin SFS EN 1991-1-4 mukaan

Telineeseen vaikuttava tuulikuorma määritettiin standardin SFS EN 1991-1-4 mukaan. Tuulikuorma määritettiin pahimman mahdollisen tilanteen mukaan. Laskenta on voimassa asennuskorkeuteen 50 m asti maastoluokassa 0, joka vastaa merta tai merelle avointa rannikkoaluetta.

Suurin pinta-ala, jolle tuulikuorma määritetään, on TP69C-keräimen pinta-ala 3,93 m². Pinta-ala on tyhjiöputkikeräimellä todellisuudessa aukollinen, koska putkien välissä on ilmarako. Ala käsitellään kuitenkin umpinaisena, jolloin saatu tulos jää varman puolelle. Pinta-alan oletetaan olevan tuulen suuntaan kohtisuoraan. Laskennassa käytetään SI-järjestelmän mukaisia yksiköitä, jolloin lopputuloksena saadaan kokonaistuulikuorman yksiköksi Newtonia.

TAULUKKO 3. Laskennassa käytetyt merkinnät.

F_w	rakenteeseen tai rakenneosaan kohdistuva tuulikuorma
$C_s C_d$	rakennekerroin
C_f	voimakerroin
$q_p(z)$	puuskanopeuspaine korkeudella z
A_{ref}	Pinta-ala
$I_v(z)$	tuulenpuuskan intensiteetti korkeudella z
ρ	ilman tiheys
$V_m(z)$	tuulennopeuden modifioitu perusarvo korkeudella z
σ_v	keskihajonta
$C_0(z)$	pinnanmuotokerroin
v_b	tuulennopeuden perusarvo
$C_r(z)$	rosoisuuskerroin
k_r	maastokerroin
k_1	pyörteisyyskerroin
z	rakenteen korkeus
z_0	maastoluokan 0 korkeusarvo
$z_{0,2}$	maastoluokan 2 vertailukorkeusarvo
λ	tehollinen hoikkuus
φ	eheyssuhde

Telineeseen kohdistuva tuulikuorma määritettiin voimakerroinmenetelmällä. Kokonaistuulikuorma saadaan kaavasta (SFS EN 1991-1-4 2004, 42)

$$F_w = C_s C_d * C_f * q_p(z) * A_{ref}. \quad (1)$$

Rakennekertoimena käytetään arvoa 1, joka on voimassa alle 15 m korkeille rakennuksille. Voimakerroin C_f saadaan kaavasta (SFS EN 1991-1-4 2004, 128)

$$C_f = C_{,0} * \Psi_\lambda. \quad (2)$$

Kaavassa $C_{,0}$ on ristikkorakenteiden ja telineiden voimakerroin ilman päätevastusta Tämä saadaan eheyssuhteen φ funktiona (SFS EN 1991-1-4 2004, 130).

Tämän mukaan $C_{,0} = 2$. Päätevaikutuskerroin Ψ_λ määritellään tehollisen hoikkuuden λ funktiona. Koska $\lambda = 2 * \frac{l}{b} = 45$, on Ψ_λ tällöin 0,86 (SFS EN 1991-1-4 2004, 138).

Nyt voidaan kirjoittaa

$$C_f = 2 * 0,86 = 1,72. \quad (3)$$

Tuulen keskihajonnan σ_v ja modifioidun tuulennopeuden $V_m(z)$ suhdetta kuvaa tuulenpuuskien intensiteetti (SFS EN 1991-1-4 2004, 36)

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{V_m(z)}. \quad (4)$$

Keskihajonta σ_v saadaan kaavasta (SFS EN 1991-1-4 2004, 36)

$$\sigma_v = k_r v_b k_1. \quad (5)$$

ja maastokerroin k_r edelleen kaavasta (SFS EN 1991-1-4 2004, 32)

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,2}} \right)^{0,07}. \quad (6)$$

Standardin SFS EN 1991-1-4 Suomen kansallisen liitteen mukaan tuulennopeuden perusarvo v_b on Suomessa $21 \frac{m}{s}$. Tämä pätee koko maassa merialueet mukaan luki-en. Pyörteisyyskertoimen k_1 suositusarvo on 1 (SFS EN 1991-1-4 2004, 36).

Arvo z_0 on maastoluokan 0 mukainen korkeusarvo 0,003 m ja $z_{0,2}$ vertailuarvona käytettävä maastoluokan 2 vastaava korkeusarvo 0,05 m (SFS EN 1991-1-4 2004, 34).

Tuulennopeuden perusarvo lasketaan kaavasta

$$v_b = c_{dir} * c_{season} v_{b,0}, \quad (7)$$

jossa kertoimien c_{dir} (suuntakerroin) ja c_{season} (vuodenaikakerroin) suositusarvo on 1. (SFS EN 1991-1-4 2004, 30.)

Tällöin keskihajonta on

$$\sigma_v = 0,19 * \left(\frac{0,003 \text{ m}}{0,05 \text{ m}}\right)^{0,07} * 21 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 1 = 3,276 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Tuulennopeuden modifioitu perusarvo saadaan kaavalla (SFS EN 1991-1-4 2004, 32)

$$V_m(z) = C_r(z) * C_0(z) * v_b, \quad (8)$$

jossa pinnanmuotokerroin $C_0(z)$ on 1.

Rosoisuuskerroin $C_r(z)$ saadaan tästä edelleen kaavalla

$$C_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right), \quad (9)$$

jossa z on telineen suurin sallittu asennuskorkeus 50 m (SFS EN 1991-1-4 2004, 32).

Tällöin tuulennopeuden modifioitu perusarvo on kaavan 8 mukaisesti

$$V_m(z) = 0,156 * \ln\left(\frac{50 \text{ m}}{0,003 \text{ m}}\right) * 1 * 21 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 31,85 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Tuulenpuuskan intensiteetti ja siitä edelleen puuskannopeuspaine voidaan nyt ratkaista kaavan 4 ja 8 avulla kaavasta

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * 0,5 * \rho * V_m(z), \quad (10)$$

jossa ilman tiheys ρ on $1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. (SFS EN 1991-1-4 2004, 38.)

Puuskannopeuspaine on tällöin

$$q_p(z) = \left[1 + 7 * \frac{3,276 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{31,85 \frac{\text{m}}{\text{s}}}\right] * 0,5 * 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 31,85^2 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1090,5 \text{ Pa}.$$

Kaikki muuttujat on ratkaistu, joten kokonaistuulikuorma saadaan kaavasta 1

$$F_w = 1 * 1,72 * 1090,5 \text{ Pa} * 3,93 \text{ m}^2 = 7371 \text{ N} \approx 7,4 \text{ kN}.$$

6.2.2 Lumikuorma standardin SFS EN 1991-1-3 mukaan

Telineen kantamaa lumikuormaa ei otettu rakenneosien mitoituksessa huomioon, koska keräinpinnat tulee pitää niin puhtaana lumesta, ettei kuormitustilannetta pääse syntymään. Lasiset tyhjiöputket ja tasokeräimen absorptiopinta eivät kestä suuria lumikuormia. Keräinten kallistuskulma on myös useimmiten niin jyrkkä, ettei lumikuormaa pääse senkään puolesta kertymään. Teoreettinen lumikuorma on kuitenkin käsitelty seuraavassa.

Lumikuormaa käsiteltiin normaaliolosuhteissa tasaisena ja kiinteänä kuormana eli kinostumista tai muuta poikkeuksellista käyttäytymistä ei otettu huomioon. Edellytyksenä lumikuorman muodostumiselle on keräimen säätö nollakulmaan eli vaakatasoon. Tästä syystä laskennassa käytettiin pulpettikaton mukaisia kertoimia kallistuskulmalla 0° . Laskennassa käytetyt merkinnät ovat taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Lumikuorman laskennassa käytetyt merkinnät.

μ_1	lumikuorman muotokerroin
S_k	maanpinnan lumikuorman ominaisarvo
C_e	tuulensuojaisuuskerroin
C_t	lämpökerroin
s	katon lumikuorma

Rakenteen kokonaislumikuorma yksikössä kN/m^2 saadaan kaavasta (SFS EN 1991-1-3, 2004, 26)

$$s = \mu_1 * C_e * C_t * S_k. \quad (11)$$

Lumikuorman muotokerroin μ_1 on pulpettikatolle kallistuskulmalla $0^\circ < \alpha < 30^\circ$ 0,8 (SFS EN 1991-1-3, 2004, 30). Tuulensuojaisuuskerroin C_e on normaali tilanteessa, jossa tuuli ei merkittävästi poista lunta rakennuskohteiden, puiden tai maaston takia 1 (SFS EN 1991-1-3, 2004, 28). Lämpökertoimen suositusarvo on myös 1 (SFS EN 1991-1-3, 2004, 28). Maanpinnan lumikuorman ominaisarvo on suomessa pahimmillaan $3,5 \text{ kN/m}^2$ (Ympäristöministeriön asetus eurocode- standardien soveltamisesta talon rakentamisessa 2009, 3).

Nyt voidaan lumikuorma ratkaista kaavalla 11.

$$s = 0,8 * 1 * 1 * 3,5 = 2,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}. \quad (12)$$

Koska keräinpinta-ala on enimmillään $3,93 \text{ m}^2$, on koko rakenteeseen vaikuttava lumikuorma $2,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 3,93 \text{ m}^2 = 11,1 \text{ kN}$.

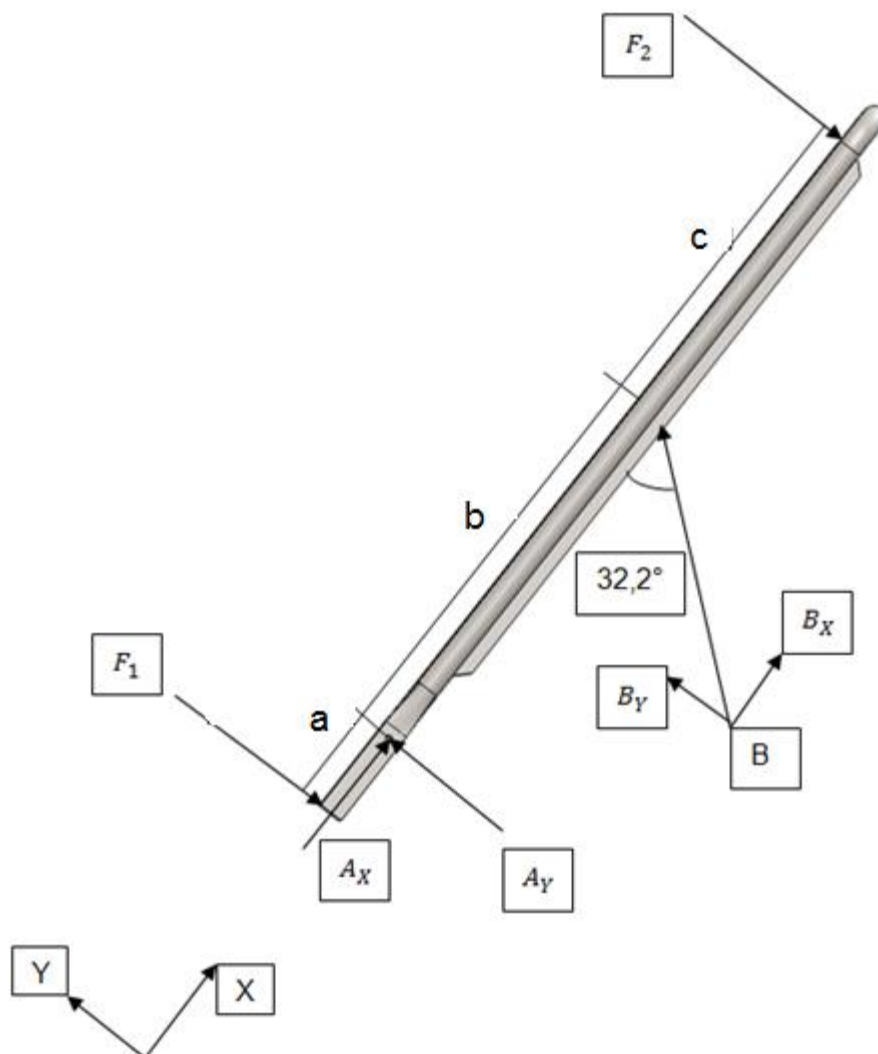
7 RAKENNEOSIEN MITOITUS

Mitoituksessa määrääväksi voimaksi tuli tuulikuorman ja keräimen suurimman oman kuorman summa. Laskenta on suoritettu suurimmalla kulmalla, jolloin kuormitustilanne on pahin.

7.1 Putkikehikon tukireaktiot

Putkikehikon tukireaktiot ratkaistiin perinteisellä käsin laskennalla käyttäen statiikan perusyhtälöitä. X-suuntaisten voimakomponenttien summa on

$$\Sigma X = A_x + B_x = 0. \quad (13)$$



KUVA 18. Putkikehikon tukireaktiot pahimassa kuormitustilanteessa.

Kaavasta 13 saadaan edelleen

$$A_x = -B_x.$$

Y-suuntaisten voimakomponenttien summa on

$$\Sigma Y = A_y - F_1 + B_y - F_2 = 0. \quad (14)$$

Voimat F_1 ja F_2 tulevat tuulikuorman F_W resultantista. Koska tuulikuorma jakaantuu neljään kiinnityspisteeseen, on voimassa

$$F_1 = \frac{F_W}{4}, \quad F_2 = \frac{F_W}{4}.$$

Yhtälössä on edelleen kaksi tuntematonta muuttujaa, joten täytyy kirjoittaa momenttiyhtälö

$$\Sigma M_A = F_1 a + B_y b - F_2 (a + b) = 0. \quad (15)$$

Tästä saadaan edelleen

$$B_y = \frac{F_2(a+b) - F_1 a}{b} \rightarrow B = \frac{B_y}{\sin 32,2^\circ}.$$

B_x voidaan nyt ratkaista Pythagoraan lauseella

$$B_x = \sqrt{B^2 - B_y^2}.$$

Kun $F_W = 7,4$ kN saadaan tuloksiksi:

$$B = 5,5 \text{ kN}$$

$$B_y = 2,93 \text{ kN}$$

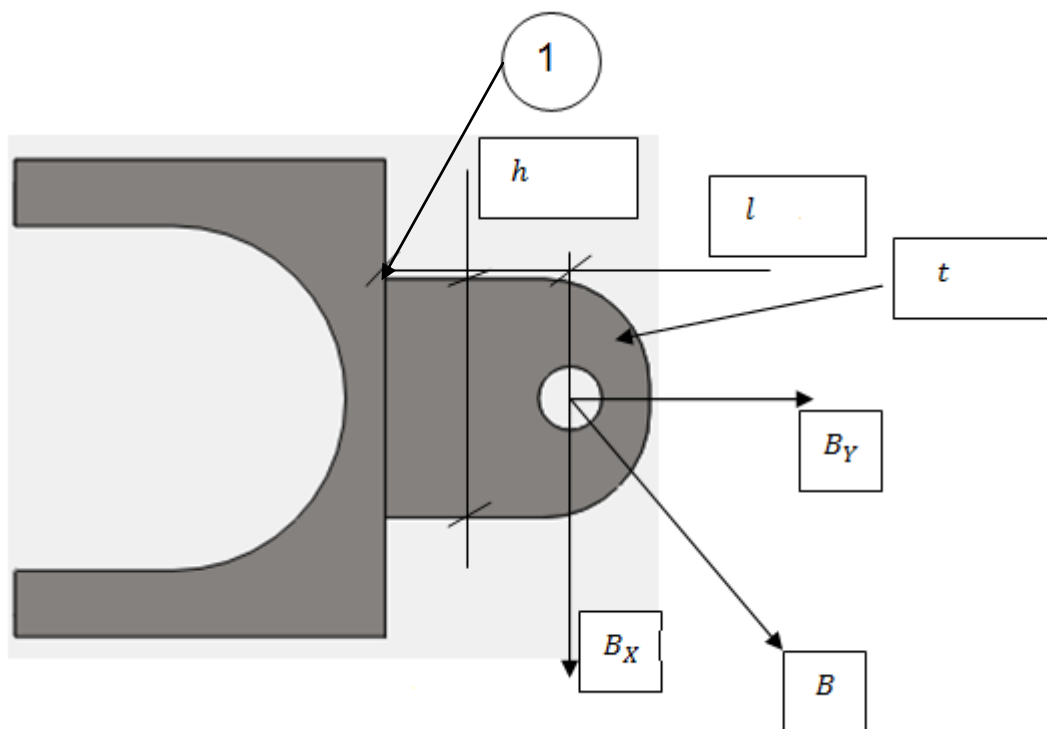
$$A_y = 0,77 \text{ kN}$$

$$B_x = 4,65 \text{ kN}$$

$$A_x = -4,65 \text{ kN}$$

7.2 Hitsien mitoituksen tarkistus

Hitsien mitoitus tarkistettiin edellisessä kappaleessa lasketun suurimman voiman mukaisesti. Pahimmassa kuormitusilanteessa kriittisimmät osat ovat vinotuen hitsatut korvakkeet. Korvakkeen hitsin mitoituksessa käytettävät voimat saatiin suoraan kappaleessa 7.1 käsitellyistä tukireaktioista. Voimat käsiteltiin vetojännityksenä, koska tuulikuorma voi kohdistua laitteeseen myös sen takapuolelta. Tällöin säätöpannan korvakkeeseen kohdistuu kuvan 19 mukainen vetojännitys.



Kuva 19. Säätöpannan korvakkeen hitsin mitoitus.

Momentti M saadaan yhtälöstä

$$M_t = B_x/2 * l = 0,0814 \text{ kNm.} \quad (16)$$

Voimakomponentit on jaettu kahdella, koska voima jakautuu tasan kahteen hitsattuun korvakkeeseen.

Jännityksen kriittisin kohta on pisteessä 1. Jännitys pisteessä 1 saadaan lausekkeella

$$\sigma = \frac{M_t}{I_z^*} * y + \frac{B_y/2}{A}, \quad (17)$$

jossa I_Z on poikkileikkauksen neliömometti, y pisteen etäisyys 0-akselilta ja A poikkileikkauksen pinta-ala. Kun mitta-arvot ja muuttujat sijoitetaan lausekkeeseen 17, saadaan jännitykseksi

$$\sigma = 68,435 \text{ Mpa.}$$

Koska kyseessä on tasaluja kaksoispinahihti, saadaan a -mitalle lauseke (Kemppi, J., Niemi, E. 2006, 31)

$$a \geq \frac{\beta_W \gamma_{M2} t}{2 f_U} * \sqrt{2} * \sigma_{x,Ed}^2 + \tau_{xy,Ed}^2, \quad (18)$$

jossa β_W = korrelaatiokerroin, γ_{M2} osavarmuuskerroin, f_U lujuusarvo, t ainevahvuus $\sigma_{x,Ed}$ vaikuttava jännitys ja $\tau_{xy,Ed}$ poikittainen jännitys.

Standardin SFS EN 1991-1-8, sivulta 47 saadaan korrelaatiokertoimen arvoksi $\beta_W = 0,9$. Lujuusarvo f_U on standardin SFS EN 1993-1-1-1, sivun 26 mukaan $510 \frac{N}{mm^2}$. Osavarmuusluvun γ_{M2} suositusarvo on 1,25 (SFS EN 1993-1-1-1, 48).

Nyt voidaan tarvittava a -mitta ratkaista lausekkeesta 18.

$$a \geq \frac{0,9 * 1,25 * 4 \text{ mm}}{2 * 510 \text{ N/mm}^2} * \sqrt{2 * 68,5^2 \text{ N/mm}^2} = 0,427 \text{ mm.}$$

Vaadittava a -mitta on varsin vähäinen, joten valitaan käytettäväksi mitaksi $a = 3 \text{ mm}$.

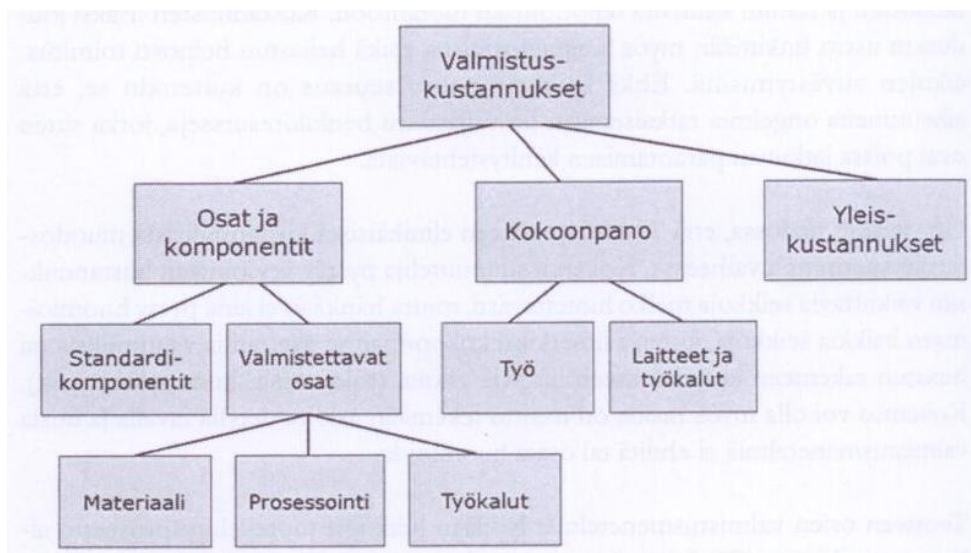
7.3 FEM-analyysi

Edellisessä luvussa saatujen tukireaktioiden avulla tehtiin rakenteen pääosista analyysit Ansys Workbench FEM -ohjelmalla. Analyysin pohjalta rakenteeseen tehtiin muutoksia, jotka käsiteltiin jo kappaleessa 5.5.5. Analyysissä saatiin selville rakenteen pääjännitykset, siirtymät ja muodonmuutokset. Tarkemmat tiedot FEM-analyyseistä ovat liitteessä 2.

8 VALMISTUSKUSTANNUSTEN LASKENTA

Valmistuskustannukset muodostuvat monesta osakustannustekijästä (kuva 20).

Telineen materiaali- ja standardiosakustannuksia arvioitiin Internetistä löytyvien hinnastojen perusteella. Todelliset kustannukset selviävät, kun osien valmistus suunnitellaan yrityksen konekannan ja tuotantotilojen vaatimusten mukaisesti. Mahdollinen alihankinnan kannattavuus tulee myös selvittää. Kun työn osuus ja kokoonpanon vaatima aika saadaan selville, voidaan määritellä tuotteen kokonaiskustannukset. Suuntaa antava kustannusarvio on liitteessä 3.



KUVA 20. Valmistuskustannusten määräytyminen osakustannustekijöistä. (Hietikko 2008, 152)

9 TULOKSET JA YHTEENVETO

Työn tuloksina saatiin telineen 3D-malli, valmistuspiirustukset sekä rakenteen pääosien FEM-analyysit. Alussa määritellyt pääasialliset tavoitteet tuli siis täytettyä. Tuotteen valmistettavuus ja toimivuus paljastuu vasta, kun ensimmäistä prototyyppiä aletaan valmistaa.

Työ painottui yksityiskohtaiseen suunnitteluun ja lujusteknisiin näkökohtiin. Suunnittelussa olisi ollut mahdollista kiinnittää enemmän huomiota muotoilullisiin ja visuaalisiin ominaisuuksiin. Tämä olisi kuitenkin vaatinut enemmän aikaa, työpanosta ja yhteistyökumppaneita. Näihin seikkoihin voitaneen palata seuraavissa opinnäytetöissä.

Kokonaisuutena työ onnistui mielestäni hyvin. Suunnittelussa aikataulussa pysyttiin ja työmäärä vastasi suunnilleen odotuksia. Toteutuksessa parannettavaa olisi ollut osapuolten välisessä viestinnässä ja tulosten katselmoinneissa. Koska osapuolet olivat varsin kaukana toisistaan, käytettiin viestinnässä ja katselmoinneissa ensisijaisesti sähköpostia. Informaation hitaan kulun vuoksi pienenkin asian selvittämiseen kului aivan liian kauan aikaa. Tämä puolestaan johti mallin muuttamiseen useaan kertaan ja turhan työn tekemiseen.

Työ opetti suunnittelutyössä vaadittavaa pitkäjänteisyyttä ja useiden asioiden yhtäaikaista huomioonottamista. Luonnosten vertailun tärkeys ja kriittisyys päätäntävaiheessa tuli myös esille. Kun mielestään saa hyvän idean, alkaa helposti ajaa tätä ideaa läpi huomaamatta siihen liittyviä olennaisia epäkohtia. Ennen todellista toteuttamista tulee asiaa arvioida useasta eri näkökulmasta, jotta voi olla varma sen oikeellisuudesta. Turhaa työtä olisi voinut välttää käyttämällä hieman enemmän malttia.

Aurinkolämpötekniikka on tulevaisuuden tekniikkaa, ja se on pikkuhiljaa yleistymässä Suomessakin. Tulevaisuudessa varmasti kehitetään toinen toistaan hienompia laitteistoja ilmaisen energian hyödyntämiseen. Tässä työssä saadut tulokset ovat toivotavasti yksi pieni edistysaskel tällä tiellä.

LÄHTEET

Erat, B., Erkkilä, V., Löfgren, T., Nyman, C., Peltola, S. & Suokivi, H. 2008. *Aurinko-opas. Aurinkoenergiaa rakennuksiin*. Helsinki: Kustantajat Sarmala.

Hietikko, E. 2008. *Tuotekehitystoiminta*. Kuopio: Savonia-amk:n kuntayhtymä.

Kemppi, J., Niemi, E. 2006. *Hitsausliitosten staattinen mitoitus Eurocode-järjestelmän mukaan*. Insko-seminarit 2006.

Pameto Oy. *Kiinnitystarvikkeiden ohjehinnasto* [verkkodokumentti]. 2007 [Viitattu 19.4.2011]. Saatavissa: <http://www.ruuvivalmiste.fi/pdf/pametohinnasto07.pdf>

Rautasoini Oy. *Tuotehinnasto* [verkkodokumentti]. 2011 [Viitattu 19.4.2011]. Saatavissa: <http://www.rautasoini.fi/index.php?mid=5&l=FI>

SFS EN 1991-1-3 2004. *Rakenteiden kuormat. Yleiset kuormat. Osa 1-3: Lumikuormat*. Vahvistettu 26.1.2004. Suomen standardisoimisliitto.

SFS EN 1991-1-4 2004. *Rakenteiden kuormat. Yleiset kuormat. Osa 1-4: tuulikuormat*. Vahvistettu 26.9.2005. Suomen standardisoimisliitto.

SFS EN 1991-1-8 2005. *Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus*. Vahvistettu 15.8.2005. Suomen standardisoimisliitto.

SFS EN 1993-1-1 2005. *Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt*. Vahvistettu 15.8.2005. Suomen standardisoimisliitto.

SFS EN 1993-1-3 2005. *Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt. Lisäsäännöt kylmämuovaamalla valmistetuille ohutlevysauvoille ja muotolevyille*. Vahvistettu 22.9.1997. Suomen standardisoimisliitto.

Tuomaala, J. 1995. *Luova koneensuunnittelu*. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy.

Väkeväinen, J. 2005. *Tiedonkeruu Viitasaaren uusiutuvan energian hankkeen pilottikohteessa*. Jyväskylän yliopisto. Uusiutuvan energian koulutusohjelma. Bio- ja ympäristötieteiden laitos. Pro Gradu –tutkielma

www.savonia.fi

