

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Kone- ja tuotesuunnittelun suuntautumisvaihtoehto

Chris Friman

Ympäristöystävällisen katteen suunnittelu sähköautoon

Opinnäytetyö 2014

Tiivistelmä

Chris Friman

Ympäristöystävällisen katteen suunnittelu sähköautoon, 34 sivua

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Kone- ja tuotesuunnittelun suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö 2014

Ohjaaja: lehtori Timo Eloranta, Saimaan ammattikorkeakoulu

Tässä opinnäytetyössä suunnittelin ympäristöystävälliset sähköauton kateet Saimaan ammattikorkeakoululle. Autoa suunnitteli yhteistyössä kanssani kaksi muuta opiskelijaa. Sähköauton oli tarkoitus kisata Lappeenranta GP-tapahtumassa järjestetyssä Joulella pisimmälle-kisassa.

Työssä suunnittelin katteen ulkonäön piirtämällä paperille ja kolmiulotteiseen ympäristöön. Ulkonäössä otin huomioon sekä esteettiset että aerodynaamiset näkökulmat. Vertailin ja valitsin eri materiaaleista parhaan tässä työssä käytettäväksi. Lopuksi suunnittelin, miten kate voidaan valmistaa tiettyyn muotoon ja tietyistä materiaalista.

Autoa ei saatu valmiiksi ennen kisoja. Tämän johdosta en myöskään tehnyt kattia loppuun. Suunnitelman sain kuitenkin valmiiksi ja itse valmistusvaihe on ainoa, joka työstä puuttuu.

Asiasanat: muotoilu, materiaalin valinta, ympäristöystävällisyys

Abstract

Chris Friman

Designing an environmentally friendly cover for an electric car, 34 pages

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Degree Programme in Mechanical Engineering

Mechanical and industrial design

Bachelor's Thesis 2014

Instructor: Mr Timo Eloranta, Lecturer, Saimaa University of Applied Sciences

This bachelor's thesis designed an environmentally friendly covering for an electrical car. The car was designed for the Saimaa university of applied sciences. It was supposed to compete in Lappeenranta GP – competition. There were two other students who were designing the car. They were in charge of doing the structural and electrical plans for the car.

Techniques from mechanical designing were taken and used to help with the process, both aerodynamically and aesthetically. Different materials were compared and the best one was chosen to be used in the vehicle. Also the way the cover is going to be manufactured had to be designed.

It was not possible to finish the car so the cover was not completed. All the designs for the manufacturing process are complete. The only thing left to do is for someone to build it.

Keywords: design, choice of material, environmentally friendly

Sisältö

1	Johdanto.....	5
2	Taustaa.....	6
3	Teoriaa.....	7
3.1	Katteiden merkitys	7
3.2	Aerodynamiikka	7
3.3	Muotoilu	9
4	Muotojen suunnittelu.....	11
4.1	Kriteerit	11
4.2	Luonnostelu	12
4.3	Jatkokehitys	14
4.4	3D-mallinnus.....	17
4.5	Väritys.....	19
5	Materiaalin valinta	20
5.1	Yleistä	20
5.2	Vaatimusprofiili	21
5.3	Ominaisuusprofiili	21
5.4	Parhaan materiaalin valinta	23
6	Valmistuksen suunnittelu	24
6.1	Kate	24
6.2	Muotti.....	26
6.3	Kiinnitykset.....	28
7	Käytäntö.....	30
8	Pohdintaa.....	30
	Kuvat.....	32
	Lähteet.....	33

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella kate Lappeenranta GP:n ”Joulella pisimmälle”-kisaa varten rakennettavaan autoon. Materiaalien tulee olla ympäristöystävällisiä ja mahdollisia hävittää polttamalla. Autosta tehdään sähkökäyttöinen ja sen tulisi kuluttaa mahdollisimman vähän virtaa. Auton suunnitteluun kuuluu kolme osa-aluetta: runko, sähkötyöt ja kate. Rungon ja sähkötyöiden suunnittelun hoitavat muut opiskelijat. Projektin epäviralliseksi nimeksi on annettu Green Bird.

Idean opinnäytetyön aiheeseen sain Saimaan ammattikorkeakoulun lehtorilta Timo Elorannalta, joka toimii myös ohjaavana opettajana tässä työssä. Työn tilaajana toimii Saimaan ammattikorkeakoulu. Lappeenranta GP:n jälkeen auto tulee säilytettäväksi ammattikorkeakoulun tiloissa tulevaisuutta varten. Autoa on tarkoitus parannella ja muokata tulevina vuosina eri koulun projekteissa toteuttamaan vieläkin paremmin ympäristöystävällistä ajattelua. Lappeenranta GP-kisat ajetaan 26.04.2014.

Kerron ensin hieman teoriaa auton ulkomuotojen suunnittelusta. Tämän jälkeen kerron ja havainnollistan eri suunnitteluvaiheita. Käyn työssä myös läpi katemateriaalin valinnan. Lopuksi kerron vielä, miten projekti käytännössä toteutettiin ja pohdin projektin ja tämän opinnäytetyön onnistumista.

2 Taustaa

Lappeenranta GP on Saimaan ammattikorkeakoulun ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston yhteistyössä järjestämä ajokilpailu. Kilpailussa on kaksi eri sarjaa: Joulella pisimmälle ja SaimiaRACE. Joulella pisimmälle -sarjassa ajetaan sähköajoneuvolla mahdollisimman energiataloudellisesti määrätty matka määrätysajassa. Vauhdin- ja energiantuotto lihasvoimin on kielletty. Ajon jälkeen käytetty energiamäärä tarkastetaan. (1.)

Lappeenranta GP:tä on järjestetty nykyisenlaisena vuodesta 2012 lähtien. Vuonna 2011 järjestettiin Kilpuri-projektiin liittyen ajokilpailu. Tässä kilpailussa Saimaan ammattikorkeakoulun ensimmäisen vuosikurssin opiskelijoista kootut neljä tallia kilpailivat Kilpuri-projektissa rakentamallaan lihasvoimalla kulkevilla ajoneuvoilla. Kilpailu toimi tavallaan prototyypinä myöhemmälle SaimiaRACE-kilpailulle.

3 Teoriaa

3.1 Katteiden merkitys

Nykyään henkilöautojen korit ovat monokokkeja, eli itsensä kantavia koreja. Tämä tarkoittaa sitä, että auton runko ja kori koostuvat yhdestä osasta. Vastakkainen asetelma tälle on erillisrunkoinen rakenne. Tässä mallissa ajoneuvolla on erillinen runko, joka kantaa kuorman ja mahdollisesti suojaa kuskaa törmäystilanteissa.

Rungon päälle tulee erillinen kate suojaamaan niin kuskaa kuin ajolaitteitakin säältä ja lialta. Kate ohjaa myös ilmaa vähentäen ilmanvastusta ja antaen ajoneuvolle sen ulkoiset muodot. Erillisessä katteessa on monia hyviä puolia verrattuna monokokkiratkaisuun. Ensinäkin ulkokuoren vioittuessa on se helpompi korjata, koska se on erillään rungosta. Toisekseen se mahdollistaa monimutkaisemman muotoilun, koska rungon muodot eivät sanele niin paljon katteen sijoittelua ja muotoja.

3.2 Aerodynamiikka

Kappale kiihtyy, kun siihen kohdistetaan jokin voima. Jos kappaleeseen kohdistuu alkuperäistä voimaa vastustava yhtä suuri vastavoima, pysyy kappale joko paikallaan tai tasaisessa liikkeessä. Ajoneuvoon kohdistuu monia liikettä vastustavia voimia. Yksi näistä voimista on ilmanvastuksesta aiheutuva. Aerodynamiikka tutkii kappaleen liikettä ilman ja kiinteiden kappaleiden vuorovaikutuksia niiden liikkeessä toistensa suhteen (2.)

Edetessään auton kori läpäisee ilmamassaa, joka joutuu väistymään auton tieltä ja virtaamaan auton pintoja pitkin. Ensimmäisissä autoissa ilmanvastuksella ei ollut juurikaan merkitystä, koska nopeudet olivat niin alhaisia. Asiasta ei myös ollut juurikaan kokemusta. Nopeudet kuitenkin kasvoivat, ja varsinkin nopeusennätysautoissa ilmanvastukseen kiinnitettiin paljon huomiota muotoilemalla auto mahdollisimman virtaviivaiseksi. Lentokonetekniikan kehittyminen lisäsi aerodynamiikan osaamista, jota sovellettiin myös autoihin. (3.)

Alhaisilla nopeuksilla ei ilmanvastus näyttele suurta roolia ajoneuvon liikkeen vastustajana. Isommilla nopeuksilla myös rooli on isompi. Kun nopeus kaksinkertaistuu, kasvaa ilmanvastus nelinkertaiseksi. Tämän voi päätellä ilmanvastusvoiman laskukaavasta:

$$F = \frac{1}{2} \rho v^2 A C_v \quad (1)$$

missä F = ilmanvastusvoima, ρ = ilmantiheys, v = ilmavirran nopeus, A = kappaleen poikkileikkauksen pinta-ala, C_v = ilmanvastuskerroin. (3.)

On myös muita ajoneuvon liikettä vastustavia voimia. Tässä työssä kuitenkin suunnittelen ajoneuvoa päällystävät ja koristavat katteet. Katteiden kautta kulkevia vastustavia voimia ei ole muita kuin ilmanvastus. Tästä syystä vain ilmanvastuksella on merkitystä työssäni.

Kuvitellaan paikallaan oleva ajoneuvo tasaisella maalla. Ajoneuvoon kohdistetaan vakiovoima sen liikkeelle saamiseksi. Ajoneuvon lähtee liikkeelle ja sen vauhti kasvaa. Koska ajoneuvo kulkee läpi ilmassa, siihen kohdistuu ilmanvastus. Ilmanvastus kasvaa nelinkertaiseksi, kun vauhti kaksinkertaistuu. Ajoneuvon kiihtyvyys laskee koko ajan, koska sitä vastustava voima kasvaa. Josain vaiheessa ajoneuvon kohdistettu liikuttava voima ja ilmanvastuksesta johdettu vastavoima ovat yhtä suuret. Tällöin kyseinen ajoneuvo on saavuttanut sillä kyseisellä voimalla suurimman mahdollisen nopeuden.

Koska Green Bird-projektissa on tarkoitus suunnitella mahdollisimman vähän kuluttava ajoneuvo, on mietittävä, millä keinolla voidaan pienentää ajoneuvon liikkeen ylläpitävää voimaa. Voima saadaan aikaiseksi sähkömoottorin tekemästä työstä. Mitä pienempi voima ajoneuvoon voidaan kohdistaa, sitä vähemmän työtä moottorin tarvitsee tehdä. Tällä tavoin moottorin kulutus pienenee. Ratkaisu on pienempi ilmanvastus. Tämä onnistuu tekemällä katteista sen muotoisia, että ne helpottavat ilman virtausta kappaleen ohi.

Auton ilmanvastukseen siis vaikuttavat auton koko, eli poikkileikkauksen pinta-ala A , sekä ilmanvastuskerroin C_v . Jos ilmavirta kohdistuu täysin pystyyn pintaan, on ilmanvastuskerroin 1. Ilmanvastuskerroin voi olla myös yli 1 joissakin

tavara-autoissa, joissa kuorma muodostaa ilmanvastuksen kannalta hyvin epäedullisia ulokkeita ja ilmataskuja. (3.)

Esimerkiksi normaalilla tuotantoautolla ilmanvastuskerroin on 0,3. Tällainen auto on suunniteltu aerodynaamiseksi, mutta ei pelkästään se mielessä. Esimerkiksi maailman aerodynaamisin tuotantoauto on Volkswagen XL1. Sen ilmanvastuskerroin on 0,189 (4.). Tätäkin pienempään ilmanvastuskertoimeen on mahdollista päästä, mutta tuotantoautoissa on yleensä tavoitteena myös käytännöllisyys.

On mahdollista laskea ilmanvastuksen vaikutus katteisiin ja näin muotoilla ajoneuvosta mahdollisimman aerodynaaminen. Se ei kuitenkaan tue tavoitetta tehdä muodoista myös omalaatuiset ja myyvät. Tämän johdosta otankin aerodynamiikan opeista vain suunnan työlleni enkä tuo siihen mukaan laskennallista puolta.

3.3 Muotoilu

Muotoilu on ensimmäinen asia, mikä autosta näyttäytyy kuluttajalle. Se luo imagoa ja synnyttää mielikuvia (5.). Ajoneuvon muotoilu on tärkeä osa sitä, mitä ihmiset ajattelevat ajoneuvosta. Muotoilu vaikuttaa suoraan jopa ihmisen tunteisiin. Hyvä muotoilu on plaseboa itsetunnolle. Volvo tutki vuonna 2013 automuotoilun merkitystä ihmisille. Kaunis muotoilu herätti varsinkin miehissä vahvoja positiivisia reaktioita. 60 prosenttia miehistä väitti, että kauniilla autolla ajaminen saa heidät tuntemaan itsensä varmoiksi ja voimakkaiksi. Tutkimuksessa selvisi myös, että miehistä keula ja naisista takapää oli auton tyylikkään osa.(6.).

Aikaisemmin vain konseptiautot ovat olleet muotoilultaan oikeasti innovatiivisia ja uusia. Silloin oli helppo arvata, miltä seuraavan vuoden mallit ja sitäkin seuraavan vuoden mallit tulisivat pääpiirteittäin näyttämään. Nykyään mennään enemmän siihen suuntaan, että tuotantoautot ottavat suuremmin vaikutteita konseptiautoista. Linjat ovat räväkempiä ja kauppa-autokin näyttää urheilulliselta.

Uuden automallin suunnitteluun liittyy valtava määrä teknistä pohdintaa, elektroniikkaa ja materiaalitekniikkaa. Auton suunnitteluprosessi ei kuitenkaan rajoitu puhtaasti sen tekniseen puoleen, vaan insinöörien työtaakan jakavat muotoilijat. He ovat yleisesti ottaen ammatiltaan joko teollisia muotoilijoita tai ajoneuvomuotoiluun erikoistuneita muotoilijoita. Aiempina vuosikymmeninä osa automuotoilijoista oli koulutukseltaan arkkitehtejä. Tämä oli yleistä etenkin Euroopassa ja moni esimerkiksi 1950- ja 60-lukujen italialaisista autoklassikoista on saanut muotonsa arkkitehdin kynästä (5.).

Minulla ei ole aikaisempaa kokemusta muotoilusta muuten kuin kuluttajana. Aihe voi tuntua yksinkertaiselta, mutta siihen liittyy paljon eri lähestymistapoja ja näkökulmia. Muotoilulla on mahdollista viestittää monia asioita. Tässä työssä pääpaino on ympäristöystävällisyydellä ja tämän myötä ajoneuvon pitää myös näyttää luonnonmukaiselta.

4 Muotojen suunnittelu

4.1 Kriteerit

Ulkoinen kate antaa suunnittelijalle vapaammat kädet toteuttaa omaa visiotaan. Lähtökohtaisesti tämä on hyvä asia minulle, koska mahdollisuudet auton ulkonäön kannalta ovat lähes rajattomat. Haasteena tietysti on kateen valmistettavuus ja niiden kiinnitys paikoilleen. Myös autoon asennettavat laitteet, kuten esimerkiksi akut ja valot asettavat tiettyjä kriteereitä. Yksi näistä kriteereistä on esimerkiksi tarpeeksi suuren sisätilan saavuttaminen. Vaikka houkutus onkin tehdä jotain ennennäkemätöntä, eikä luovuutta kannata rajoittaa varsinkaan alussa, on autoon mahdollista kusi, akut ja moottori.

Muotojen toteuttaminen on hyvä ottaa huomioon heti alussa. Mitä enemmän muotoja katteella on, sitä vaikeampi niitä on toteuttaa. Mitä vaikeampi niitä on toteuttaa, sitä enemmän suunnitteluun ja valmistukseen kuluu aikaa ja sitä enemmän karsiutuu pois mahdollisia käytettäviä materiaaleja.

En kuitenkaan anna näiden kriteereiden rajoittaa liikaa omaa luovuuttani. Aina on mahdollista löytää ratkaisu, jolla jokin muoto saadaan valmistettua. Jos ei täysin toivotunlaiseksi, niin ainakin lähelle sitä.

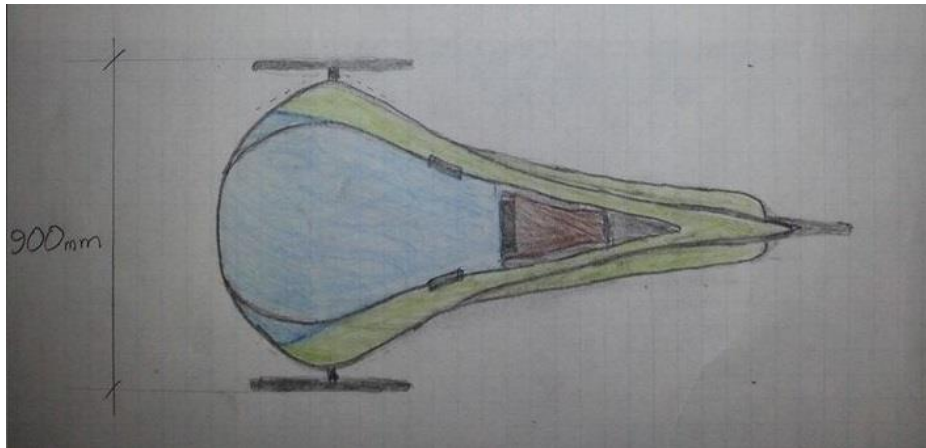
Hyvinä suuntaa antavina kriteereinä voidaan pitää aerodynaamista ja esteettistä ajattelua. Tämä tarkoittaa sitä, että katteiden tulisi näyttää hyvältä ja olla jarruttamatta menoa.

4.2 Luonnostelu

Aloitin muotojen suunnittelun luonnostelulla. Tällä oli työssäni erittäin tärkeä merkitys. Luonnoksilla ja piirustuksilla on useita käyttötapoja suunnittelutehtävissä:

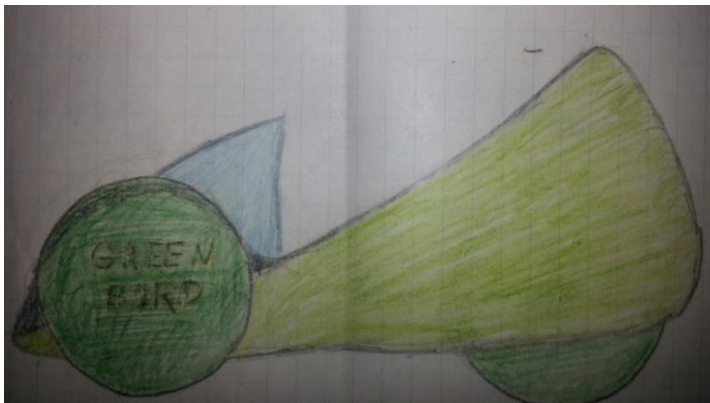
- 1) Tuotekehityksessä visuaalinen ilmaisu on välttämättömyys.
- 2) Suunnitelmat konkretisoidaan erilaisten piirustusten ja kolmiulotteisten mallien avulla.
- 3) Visuaalinen ilmaisu edellyttää laajaa erilaisten materiaalien, tekniikoiden ja työvälineiden käsittelyä (= esitystekniikat).
- 4) Mallinsuunnittelua rajoittaa heikko piirustustaito, jolloin omia mielikuvia ei pystytä visualisoimaan.
- 5) Luonnostelu on suunnittelijan kommunikaation ja dialogin väline, itselle ja toisille.
- 6) Ideoita kokeillaan, kritisoidaan ja muokataan. (7.)

Pyrin luomaan aluksi jotain täysin omaani. Aloitin miettimällä autoa yläperspektiivistä ja vetämällä lyijykynällä tyhjälle paperille viivoja satunnaisesti. Näistä viivoista pyrin etsimään selkeästi erottuvia muotoja. Korostin muotoja ja piirsin lisää sattumanvaraisesti, jotta löytäisin jatkon aikaisemmalle muodolle. Tein näin muutaman kuvan, jonka jälkeen tein muutaman luonnoksen rungosta. Runkokuvia käytin pohjana katteille. Niiden päälle aloin hahmotella aikaisemmin aikaan saatujen muotojen avulla itse katteiden muotoja. Luonnostelussa pisaran muoto nousi ylitse muiden (kuva 1). Päätin jatkaa ylhäältä katsottuna tällä mallilla. Vaikka yläprofiili pysy samana, ei se vaikuta sivuprofiilin suunnitteluun merkittävästi. Sitä on myös mahdollista muokata myöhemmässä vaiheessa, jos sille on tarvetta.



Kuva 1 Pisaramuoto

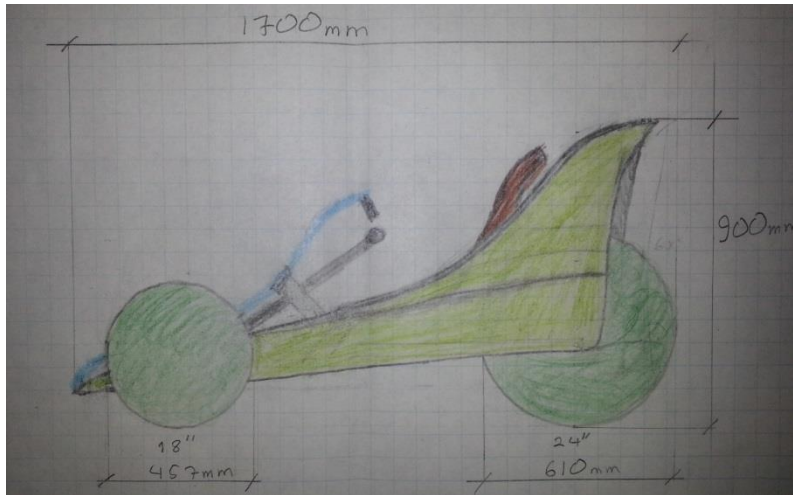
Sivusuunnassa aloitin samalla tavalla suunnittelun. Etsin erilaisia muotoja, kunnes sain karsittua kolme erilaista vaihtoehtoa käytettäväksi varsinaisiin katteisiin (kuvat 2,3 ja 4).



Kuva 2 Katemalli 1



Kuva 3 Katemalli 2



Kuva 4 Katemalli 3

Päätin jatkaa kolmannella versiolla. Se mahdollistaa kuljettajalle helpon ajoneuvoon nousemisen ja pois pääsyn. Katteet on myös helpompi luoda käytännössä, koska malli on yksinkertaisempi. Se on myös kaikista luonnoksista urheilullisin.

4.3 Jatkokehitys

Alkuperäisen luonnostelun jälkeen hain inspiraatiota etsimällä mahdollisimman paljon erilaisia kuvia autoista ja varsinkin konseptiautoista (kuva 5.). Sain näin erittäin hyviä ideoita ja näkemystä, jota voisin soveltaa jo piirrettyihin kuviin. Pidin kuitenkin mielessä, että haluan luoda jotain omaperäistä ja uniikkia, enkä voi vain kopioida jonkun muun henkilön suunnittelemaa konseptia. Se olisi varastamista enkä voisi olla oikeasti ylpeä työstäni, jos sen olisi suunnitellut joku toinen.



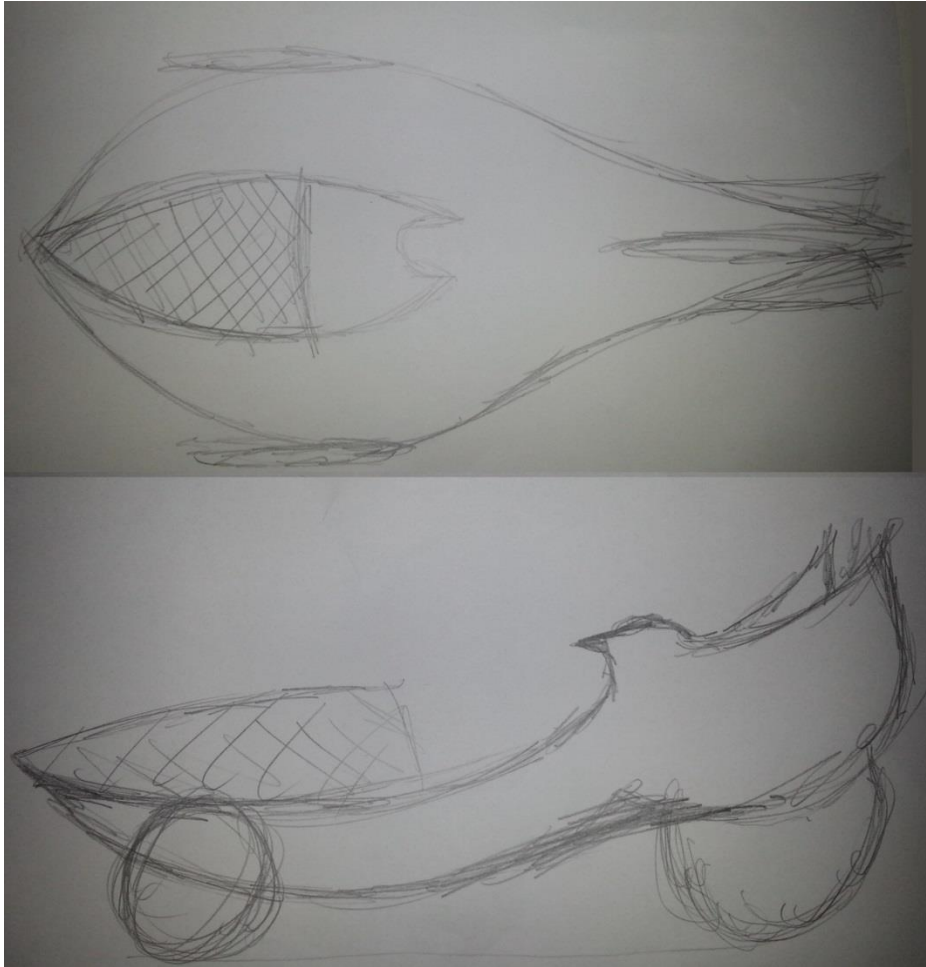
Kuva 5 Konseptikuva

Pyrin saamaan inspiraatiota myös kaikkialta ympäriltäni. Koskaan ei voi tietää mistä löytää jonkun hienon muodon. Mikä tahansa esine tai asia voi antaa mielelle sen tarvittavan sysäyksen luoda jotain kaunista. Eräs parhaista inspiraationlähteistä tähän työhön olivat linnut (kuva 6).



Kuva 6 Haukka

Varsinkin nopeasti lentävien ja äkkinäisiä lentoliikkeitä tekevien lintujen fyysinen olemus on yleensä voimakas ja kaunis. Nopeat linnut ovat myös aerodynaamisesti erittäin hyvin muodostuneita. Niiden on kyettävä lentämään vaivattomasti ja energiaa säästäen. Muuttohaukka on hyvä esimerkki nopeasta linnusta. Kun muuttohaukka syöksyy saaliin kimppuun, voi sen vauhti nousta lähemmäs 400 kilometriä tunnissa eli noin 110 metriä sekunnissa. Kun pyörittelin tätä ajatusta mielessäni, oli minun pakko pohtia mahdollisia ratkaisuja pelkästään lintujen pohjalta. Tätä tunnetta vahvisti vielä entisestään projektin nimi Green Bird.



Kuva 7 Haukkakate

Hahmottelin erilaisia malleja, joissa kate näytti hyvin lintumaiselta. Paras idea tuli aivan yllättäen luontodokumentista, kun näin erään eksoottisen linnun suorittavan soidintanssiaan. Kun uroslintu vietteli naarasta, se levitti siipensä niin, että niiden kärjet koskivat toisiaan. Kuvittelin, välittömästi, miltä tämä näyttäisi katteiden muodossa ja piirsin sen paperille (kuva 7). Pidän todella paljon siitä, miltä kuva näyttää. Kate olisi kuitenkin todella monimutkainen toteuttaa. Tämä olisi luultavasti liian suuri haaste tähän projektiin. Sen sijaan helpompi tapa tuoda ajoneuvolle lintumaista ulkonäköä on tehdä se väreillä. Kate voidaan maala- ta näyttämään linnulta.

4.4 3D-mallinnus

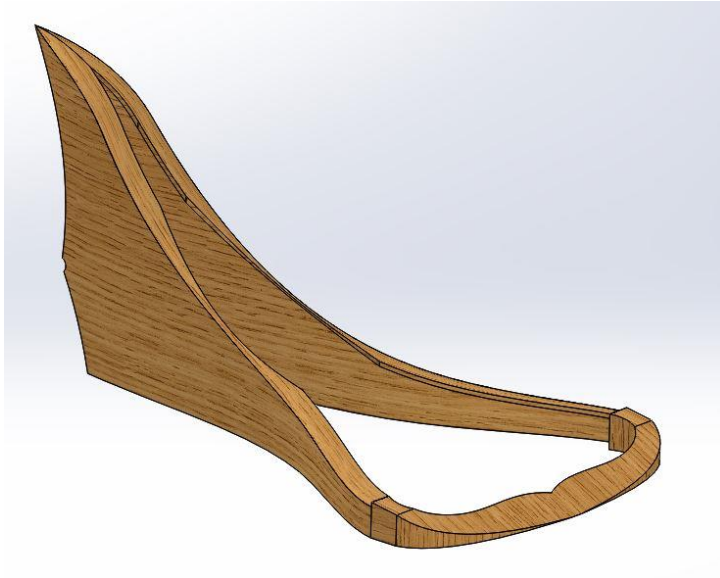
Koska piirustustaitoni ovat rajalliset, päätin tehdä piirrosten pohjalta vielä 3D-mallin tietokoneella. 3-uloitteisesta kuvasta on helpompi hahmottaa, miltä kate tulisi näyttämään valmiina. Näin siihen on myös helpompi tehdä muutoksia kuin valmiiseen katteeseen.

3D-mallin tekemiseen tarvitsin sitä varten tehdyn ohjelman. Tarjolla on useita eri 3D-ohjelmia, joista osalla on helpompi mallintaa kuin toisilla. Yleisesti voidaan sanoa, että mitä monimutkaisempi on ohjelman käyttöliittymä, sitä monimutkaisempia malleja sillä voidaan tarkasti mallintaa. Samalla tosin kasvaa työmäärä, joka vaaditaan mallin tekemiseen.

Katteiden mallintamiseen valitsin SolidWorks 3D-mallinnusohjelman. Olen käyttänyt sitä muita samankaltaisia ohjelmia enemmän ja sillä on mielestäni todella helppo työskennellä. Myös aikataulu asetti tietyt ehdot ohjelmalle, sillä minulla ei ollut mahdollisuutta opetella uuden ja monimutkaisen ohjelman käyttöä.

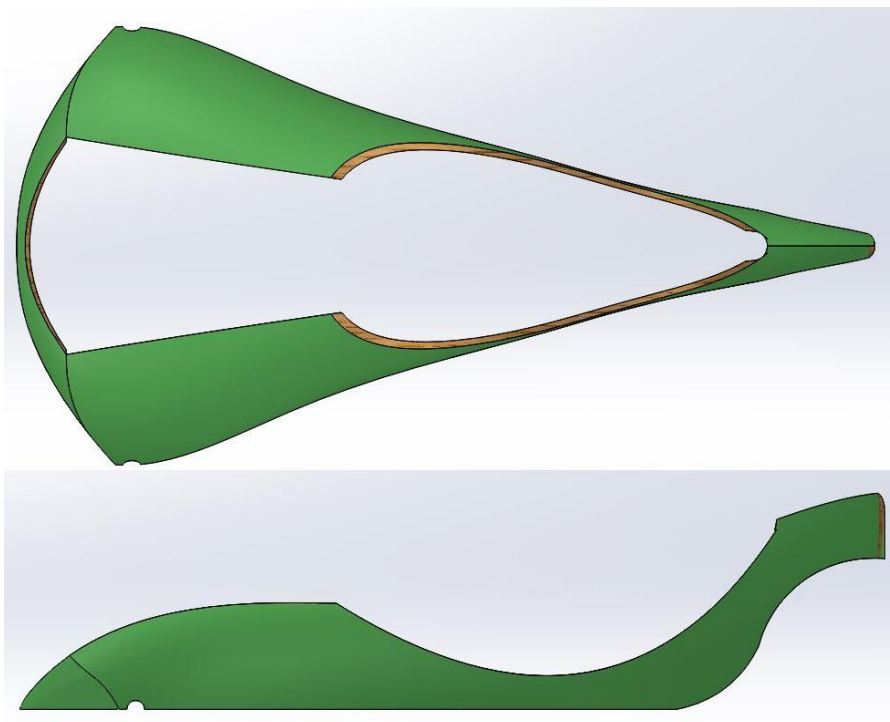
SolidWorks on käytössä Saimaan ammattikorkeakoulussa. Se on tarkoitettu koneenosien ja kokonaisuuksien tarkkaan kolmiulotteiseen mallinnukseen. Kotonani käytän ohjelman opiskelijaversiota. Omalla koneellani mallien pyörittäminen on helpompaa, koska tietokoneessani on enemmän tehoa.

SolidWorksillä on helppo piirtää suoraviivaisia ja yksöiskaarevia kappaleita. Kaksoiskaarevat kohdat tässä työssä tuottivat erityistä hankaluutta. Yksöiskaareva pinta on sellainen pinta, joka kaartuu vain yhteen suuntaan. Kaksoiskaareva pinta taas on sellainen, joka kaartuu kahteen eri suuntaan. Tavoitteeni ei kuitenkaan missään vaiheessa ollut luoda täysin tarkkoja 3D-kuvia. Käytin ohjelmaa lähinnä saadakseni paremman kuvan siitä miltä kate voisi valmiina näyttää (kuva 8).



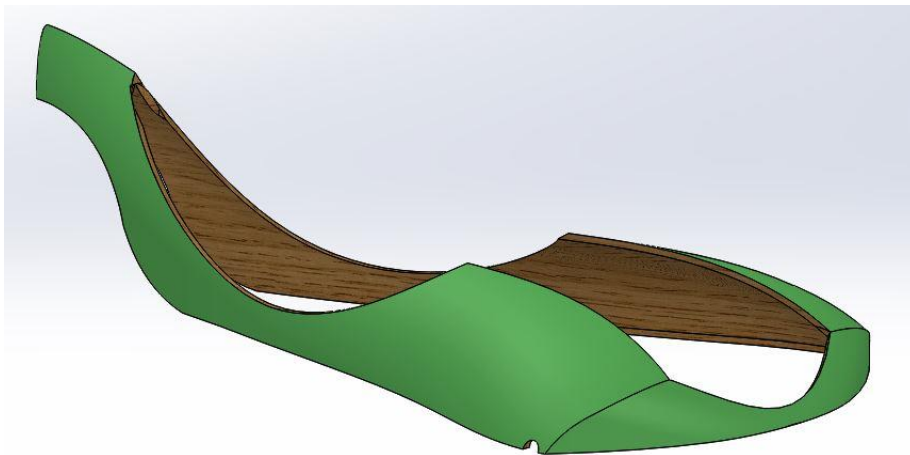
Kuva 8 Alkuperäinen malli

Tein 3D-kuvan paperipiirustusten pohjalta ja muokkasin sitä hieman kuvauksellisemmaksi (kuva 8). Tässä vaiheessa tuli selväksi se tosiasia, että paperille piirretty kaksiulotteinen kuva ei välttämättä anna todellista mielikuvaa. En ollut tyytyväinen katteen ulkonäköön, joten päätin luoda toisen mallin ottaen tiettyjä elementtejä alkuperäisestä kuvasta (kuvat 9 ja 10).



Kuva 9 Lopullinen malli ylhäältä ja sivulta

Toisesta mallista tuli ulkonäöltään virtaviivaisempi. Nostin etuosaa hieman, jotta se olisi aerodynaamisempi ja suojaisi enemmän. Se antaa katteelle myös aiempaa voimakkaamman ulkonäön. Takaosaa laskin hieman ja vähensin sieltä katteen pinta-alaa. En pitänyt siitä, että takarengas jäi katteen peittoon. Malli on myös kauttaaltaan paljon pehmeämpi kuin alkuperäinen. Päätin jatkaa tämän version kanssa eteenpäin.

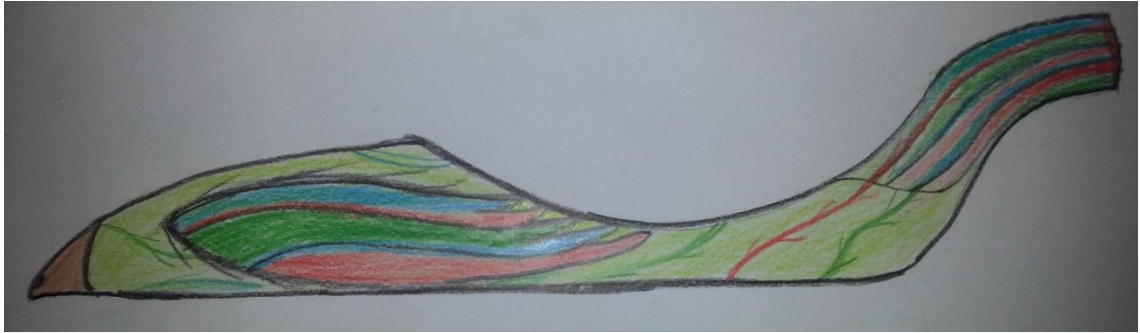


Kuva 10 Lopullinen malli

4.5 Väritys

Väritystä mietittäessä ensimmäinen varma väri, joka oli saatava vahvasti esille, oli vihreä. Vihreä kuvaa hyvin niin sanottua vihreää ajattelua. Vihreä ajattelu on asioiden pohtimista ja toteuttamista ympäristöystävällisesti ja mahdollisimman vähän luontoa kuormittaen. Varsinkin vaaleanvihreä väri antaa hyvin rauhallisen ja iloisen mielikuvan katsojalle.

Aikaisemmin ajatukseni oli tehdä ajoneuvosta iso lintu. Tämä onnistuu varsin helposti oikeanlaisella värisuunnittelulla. Kun katteiden muotoja käytetään hyväksi, saadaan aikaan hyvinkin elävä vaikutelma. Ajoneuvon valoja voi käyttää silminä ja korkealle nousevaa perää pyrstönä. Siivet ja muut muodot voidaan maalata pitkin kylkeä. Pääväreinä vihreän kanssa tullaan käyttämään punaista, sinistä ja mustaa (kuva 11).



Kuva 11 Katteen väritys

Ajoneuvon värjääminen on helpointa tehdä spraymaaleilla. Koska tässä työssä on tavoitteena ympäristöystävällisyys, täytyy myös väriaineiden yltää tähän. Sen vuoksi valitsin väriaineeksi Maston H2O! –spraymaalin. Se on ympäristöystävällinen, lähes hajuton ja nopeasti kuivuva vesiohenteinen spraymaali. Se on suunniteltu sisä- ja ulkokäyttöön. Maali sopii puu-, metalli-, muovi-, lasi-, betoni- ja kivipintojen sekä styroksin maalaamiseen. Kuivuttuaan noin 2 vuorokautta pinta on täysin sään ja veden kestävä. (8.)

5 Materiaalin valinta

5.1 Yleistä

Suunnittelijan tehtävä on kehittää komponentille tai tuotteelle materiaalinvalinta - ja valmistusmenetelmäratkaisu, joka vastaa parhaiten komponentille asetettuihin vaatimuksiin. Vaatimukset muodostavat yleensä monitahoisen vaatimusprofiilin, jossa useilla eri vaatimuksilla on erilaiset ja joskus vaikeasti määriteltävätkin painoarvot ja joissa materiaalin valinta liittyy kiinteästi valmistusmenetelmän valintaan. Toisinaan tehtävä on ratkaistavissa yksinkertaisilla valinnoilla, jolloin yksinkertaista vertailua hyödyntämällä olisi löydettävissä selkeästi tietty ehdottomasti optimaalisin ratkaisu. Tyypillisempää on kuitenkin vertailla useiden eri materiaali- ja valmistettavuusominaisuuksien yhdistelmiä kuin yksittäisiä maksimoitavia ominaisuuksia. (9.)

Materiaalin valintaa rajoittavat aikataulu sekä resurssit. Ideaalissa tilanteessa materiaaliksi voitaisiin valita jokin täysin ja nopeasti biohajoava muovi, joka ei kuormita luontoa ollenkaan. Tässä työssä tämä ei kuitenkaan ole mahdollista.

5.2 Vaatimusprofiili

Materiaailta vaaditaan ympäristöystävällisyyttä. Tämä on määritelty tähän projektiin siten, että materiaali pitää voida polttaa ja sen pitäisi voida maata nopeasti. Materiaalin pitää olla myös kevyt, mutta samalla tarpeeksi kestävä, ettei se hajoa helposti. Sen pitää olla hyvin muotoiltava, mahdollisimman halpa ja tähän projektiin helposti saatavilla.

Ensimmäisenä mahdollisista materiaalivaihtoehdoista karsiutuvat pois kaikki muovit. Muovit kyllä maatuvat ja niitäkin voi polttaa. Kuitenkin kestäviksi tarkoitettuilla muoveilla maatuminen saattaa kestää todella kauan. Esimerkiksi virvoitusjuomille tarkoitetulla juomapullolla kestää hajota luonnossa 450 vuotta (10.). Muovin polttaminen on myös hankalaa. Yleensä tarvitaan noin 850C° – 900C° , jotta muovi palaisi mahdollisimman puhtaasti eikä haitta-aineita syntyisi (11.).

Toisekseen en voi valita mitään metallia katemateriaaliksi. Metallit ovat yleensä raskaita, eivätkä pala helposti. Hyvänä puolena olisi, että autosta saataisiin ainakin kestävämpi. Esimerkiksi alumiinikate ei päästäisi vettä lävitseen, se on hyvin muotoiltavissa ja melko kevyt. Samalla häviää tosin ajatus luonnollisesta ja ympäristöystävällisestä ajoneuvosta. Metallia ei vain näytä tarpeeksi vihreältä.

Järkevimmät vaihtoehdot materiaaleiksi ovat puulähtöisiä. Puusta voidaan tehdä monenlaisia tuotteita. Jos katteen veistäisi umpipuusta, tulisi siitä auttamatta liian raskas. Sahanpurua on taas liian vaikea muotoilla, eikä siitä välttämättä saisi kovinkaan kauniin näköistä.

5.3 Ominaisuusprofiili

Vertailtaviksi materiaaleiksi valitsin UPM Grada lämpömuovailtavan vanerin, paperin, kankaan ja viilun. Vertailuvaiheessa suoritin joitain testejä nähdäkseni, miten materiaalit reagoivat eri tilanteissa ja miten helppo eri materiaaleja olisi

käsitellä. Materiaalien vertailtavat asiat ovat hinta, massa, valmistettavuus, kes-
tävyys, valmistusaika, saatavuus ja näyttävyys (kuva 12).

	Asteikko: 1 = Huono 5 = Hyvä	Paperimassa		UPM Grada		Kangas		Villu		
		Painotus	Ominaisuus	Pisteet	Painotetut	Pisteet	Painotetut	Pisteet	Painotetut	Pisteet
	0,15	Hinta	5	0,75	2	0,3	5	0,75	5	0,75
	0,3	Massa	4	1,2	1	0,3	5	1,5	4	1,2
	0,25	Valmistettavuus	2	0,5	3	0,75	4	1	5	1,25
	0,15	Suojaavuus	2	0,3	5	0,75	1	0,15	4	0,6
	0,1	Saatavuus	5	0,5	2	0,2	5	0,5	3	0,3
	0,05	Kestävyys	1	0,05	5	0,25	4	0,2	3	0,15
Yht.	1		19	3,3	18	2,55	24	4,1	24	4,25

Kuva 12 Ominaisuusprofiilitaulukko

5.4 Parhaan materiaalin valinta

Ominaisuusprofiilitaulukon avulla saatiin selville kaksi ominaisuuksiltaan parasta katemateriaalia. Vaikka kangas on erittäin houkutteleva valmistusmateriaali, ei se kuitenkaan täytä niin hyvin vaatimuksia kuin viilu. Kankaasta on vaikeampi tehdä kestäväää ja vedenpitävää. Myös valmistus vaikeutuu merkittävästi.

Eräs alkuperäinen inspiraationlähde oli BMW:n GINA prototyyppi (12.). GINA:ssa on käytetty katteena polyuretaanipäällysteistä spandexia. Spandex on venyvää kangasta. Se voi venyä jopa 600 % ja palata alkuperäiseen muotoonsa (13.). Kankaan alla on metallitangoista koostuva tukiranka. Tämän ansiosta siitä on saatu autolle kauttaaltaan yhtenäinen kate, eikä saumoja juurikaan ole. Kankaan ansiosta auto voi muuttaa ulkomuotoaan nopeasti ja tyylikkäästi.

Kankaan jäädessä pois selkeästi parhaaksi vaihtoehdoksi jää viilu. Kun puutukki leikataan ohuiksi arkeiksi, syntyy viilu. Viilu on siis ohutta puuta. Vain murtoosa puutukeista on laadultaan riittävän hyviä viilutukeiksi. Metsästä valitaan tarvittaessa jopa yksittäisiä puita viilutukeiksi. Niin sanotuissa teknisissä viiluissa, eli viiluissa, jotka ovat värjättyjä tai joissa puun luonnollista näköä on teknisesti muutettu, käytetään myös varta vasten viilutettavaksi viljeltyjä puita. Tukin puuaines pystytään käyttämään erittäin tehokkaasti hyödyksi. Esimerkiksi yhdestä kuutiosta hyvälaatuista koivua saadaan 0,55 mm paksua viilua keskimäärin 700 m². Sanotaankin, että viilutus on tehokkain ja ekologisin puun käyttötapa (14.).

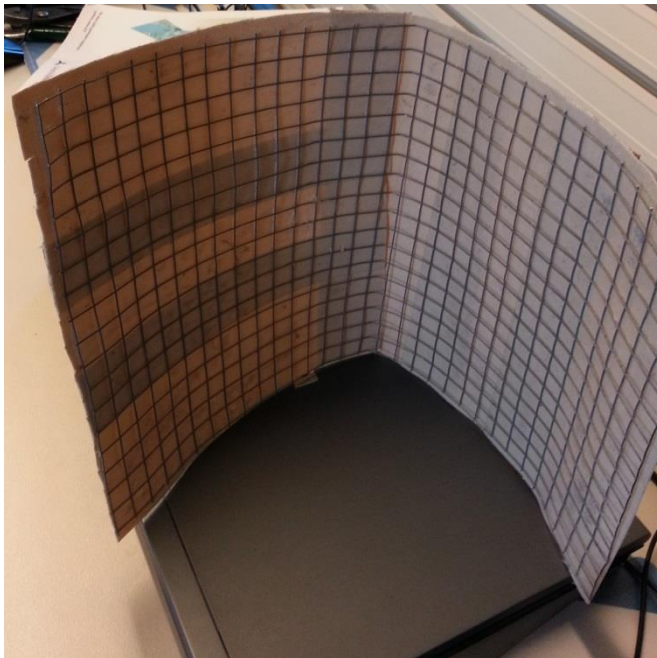
Viilua on saatavilla montaa eri puulajia ja paksuutta. Paksumpi viilu on kestävämpi, mutta ohutta viilua voidaan taivuttaa helpommin. Sain isältäni idean kokeilla 0,4 mm ohutta hiottua koivuviilua, jossa on toisella puolella valmis liimapinta. Sitä tarvitsisi vain lämmittää ensin, jotta liima sulaa. Sitten viilu vain painetaan haluttua pintaa vasten. Kyseistä viilua on myös helppo taivuttaa. Se on ohutta, eikä se tarvitse kostuttamista. Paksumpia viiluja joutuu kostuttamaan vedellä, jotta ne eivät halkeaisi taivutuksen aikana.

6 Valmistuksen suunnittelu

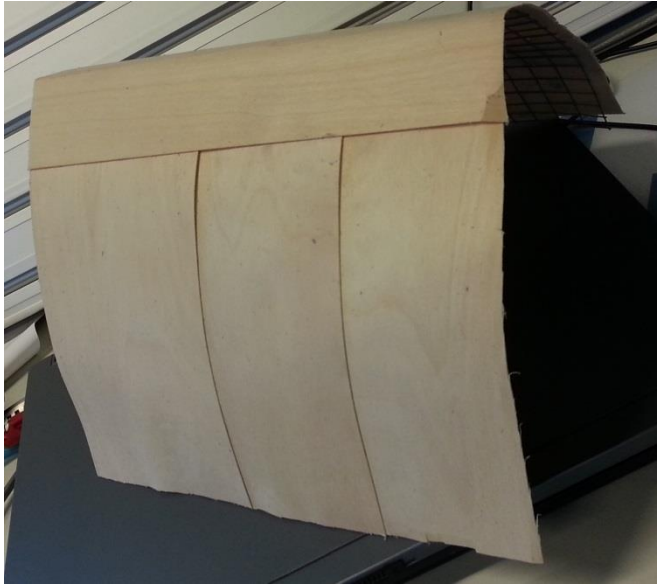
6.1 Kate

Suunnittelun aloitin vanhempieni luona Kangasniemellä. Autotallista löytyi enemmän kuin hyvät välineet valmistuksen testailuun. Viilun kiinnittäminen toimii siten, että liimapintaa lämmitetään ensin esimerkiksi kuumailmapuhaltimella ja sen jälkeen viilupala painetaan kohteeseen kiinni. Toinen tapa on painaa viilupala ensin kohdepinnalle ja sen jälkeen kuumentaa viilua toiselta puolelta niin, että liima muuttuu tahmeaksi.

Tukirunkona katteelle päätin käyttää eräänlaista verkkoaitaa sen vahvuuden ja muokattavuuden takia. Testauksen aloitin leikkaamalla pienen palan aitaa. Taivutin sen yli 90 asteen kulmaan. Molemmat sivut taivutin kaareviksi. Tämän jälkeen leikkasin viilurullasta sopivan kokoisia pätkiä. Pätkät liimasin ensin toiselle sivulle vaakasuuntaisesti ja sen jälkeen toiselle sivulle pystysuuntaisesti. Liimaukseen käytin kuumailmapuhallinta, jolla sulatin viilussa jo valmiiksi olleen liiman. Liimasin vielä harjan kohdalle yhden palan nähdäkseni, miten hyvin viilun saa taipumaan. Harjapala osoittautui myös ulkonäöllisesti hyväksi (kuva14).



Kuva 13 Kateprototyypin sisäpinta



Kuva 14 Kateprototyypin ulkopinta

Mallikappaleessa on alla rautalankaverkkoa (kuva 13). Viilut tulevat limittäin toistensa päälle (kuva 14). Liimaaminen aloitetaan peräosasta, jotta viilujen limitys antaa liittymäkohdille sulavan pinnan. Näin ilmavirta tai vesi ei pääse katteiden väleihin auton liikkeessä eteenpäin. Tulin siihen tulokseen, että viilut tulisi liimata pystysuunnassa. Näin ne saadaan sopivasti limittäin edellä mainittujen ominaisuuksien saavuttamiseksi. Viilupalat myös taipuvat paremmin tässä suunnassa, joten niiden asentaminen on helpompaa.

Tein kappaleelle taivutustestin nähdäkseni miten hyvin viilujen liimaus kestää. Tässä tuli ilmi rakenteen heikkous. Kun verkkoa taivutetaan tarpeeksi, liimaus peittää. Valmiin katteen en kuitenkaan usko koskaan vääntyvän yhtä paljon, kuin koekappaleen.

Testasin vielä, miten hyvin viilu kestää vettä. Jätin hanan tiputtamaan vettä tippa kerrallaan viiden minuutin ajaksi toisen testikappaleen päälle. Liimaukselle ei käynyt mitään, mutta viilu kastui läpi. Kastuminen aiheutti viilupalan kupruilun (kuva 15). Kupruilu aiheutti viilun kuivuessa liimauksen osittaisen peittämisen.



Kuva 15 Kosteiden vaikutus viiluun

Koska katteen kastuminen on mahdollista, on myös ajolaitteiden kastuminen mahdollista. Mitä enemmän kate kastuu, sitä enemmän ajolaitteet kastuvat ja koko ajoneuvo hajoaa. Ajoneuvolla ei ole tarkoitus ajaa sateella, mutta sadetta ei voi estää. Se alkaa kun se alkaa eikä sateelta välttämättä heti pääse suojaan.

Katteen kastumista ja veden pääsyä ajoneuvon sisälle on minimoitava. Maali itsessään suojelee katetta jonkin verran. Tämän lisäksi katteen päälle voidaan levittää vielä suojaava kerros kirkasta lakkaa. Lakkaa saa ympäristöystävällisenä vaihtoehtona. Myös lakan vaikutus katteen polttamiseen on vähäinen.

6.2 Muotti

Rautalankaverkko sopii hyvin tukemaan viilukatetta ja se voidaan muotoilla valmiiksi oikeaan muotoon. Kun se on saatu oikeaan muotoon, voidaan viilusui-kaleet liimata sen päälle. Verkon muotoilu asettaa kuitenkin oman haasteensa. Jos se muotoillaan pelkästään käsin, on koko katteesta vaikea saada molemmilta sivuilta symmetrinen.

Tämän vuoksi on käytettävä muottia. Muotti on mahdollista valmistaa monella tapaa. Oma ajatukseni muotille on veistää katteen malli EPS:stä eli solupolystyreenistä. Solupolystyreeniä käytetään pääsääntöisesti rakennusten routaeristeenä ja siitä puhutaan yleisesti nimellä styroksi.

Muotin tekeminen aloitetaan liimaamalla päällekkäin erikokoisia paloja styrok-sia. Palat asetetaan katteen muotojen mukaan siten, että pois leikattava materiaali jää mahdollisimman vähäiseksi. Kun palat on liimattu ja liiman annettu kuivua, voidaan aloittaa muotin muotoilu. Muotojen saavuttamiseksi on päästävä

eroon ylimääräisestä materiaalista. Tämä onnistuu isolla veitsellä. Kun muodot ovat suurin piirtein kohdillaan, leikataan muotti kolmeen osaan: etuosaan, keskiosaan ja takaosaan. Kaikista tehdään suurin piirtein yhtä pitkiä. Osat peitetään kauttaaltaan foliopaperiin. Foliopaperin päälle tehdään lasikuidusta varsinainen muotti. Lasikuidun kovetuttua otetaan se irti ja käännetään ylösalaisin. Sisäpinta hiotaan tasaiseksi. Lasikuitumuotin sisäpinta toimii apuna rautalankaverkkoa taivutettaessa.

Jokaiselle muotille leikataan hieman muottia isommat palat rautalankaverkkoa. Verkkoa muokataan muotin muotoiseksi taivuttamalla ja vasaralla naputtelemalla. Vasaroitaessa on varottava vahingoittamasta verkkoa ja erityisesti muottia. Kun rautalankaverkko on saatu oikeaan muotoon, aloitetaan viilun liimaus. Liimausta varten rautalankaverkko otetaan pois lasikuitumuotista ja laitetaan styroksista ja foliopaperista koostuvan muotin päälle.

Vaikka sekä muotista että verkosta puuttuvat tässä vaiheessa aukko kuljettajalle, liimataan viilupalat silti mahdollisimman lähelle piirroskuvan esittämää valmista mallia (kuva 10). Näin tulee mahdollisimman vähän hukkamateriaalia. Viilu leikataan sopivan kokoisiksi paloiksi mattoveitsellä. Liimaus aloitetaan kunkin muottipalan takaosasta. Ensimmäinen pala liimataan pystysuuntaan. Seuraava pala liimataan viereen niin, että noin kolme senttimetriä leveä osuus siitä tulee ensimmäisen päälle. Loput levyt liimataan samalla tavalla verkon loppuun asti. Styroksi ja foliopaperi antavat hyvän tuen, jotta viilua voi painaa verkkoa vasten liimatessa. Tässä vaiheessa on tärkeää pitää huoli, että viilu liimautuu kauttaaltaan hyvin kiinni verkkoon.

Ylimääräinen kate leikataan pois muotin reunoja mukaillen. Jokaisesta kolmesta osasta leikataan piirustuskuvien mukaisesti kaikki ylimääräinen pois. Nyt katteen palat ovat viimeistely vaille valmiita. Jokaiselle katteelle tehdään vielä taivutustesti, jolla varmistetaan viilun tarpeeksi vahva liitos verkon kanssa. Liimausta voidaan vahvistaa tarpeen vaatiessa lisäämällä liimaa katteen sisäpinnalle. Katteen yläreunaan liimataan viilusta suoja. Katteen reunasta tulee melko terävä ja se voi aiheuttaa vammoja kuljettajalle. Tästä syystä sisäreuna on peitettävä kauttaaltaan (kuva 16).

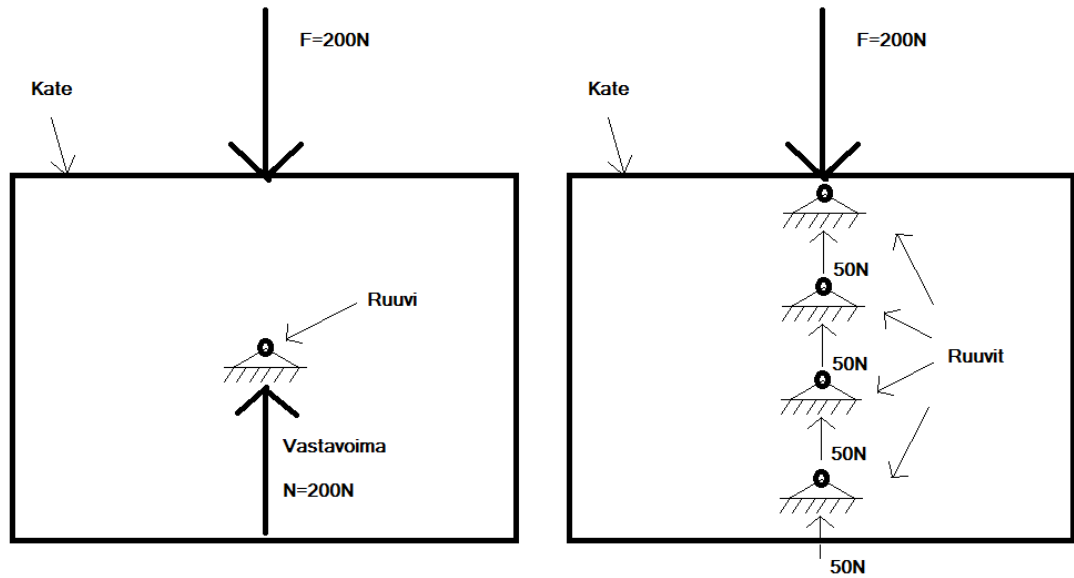


Kuva 16 Reunan suojaus

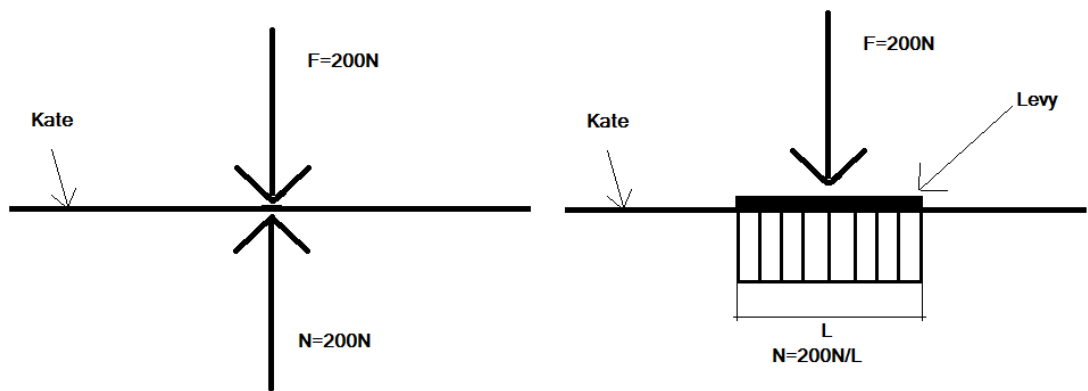
6.3 Kiinnitykset

Katteiden kiinnityksiä suunniteltaessa aloitin siitä ajatuksesta, että auton runko tukee katteita ja ne tulisi kiinnittää ainakin näistä kohdista runkoon. Viilu murtuu helposti, joten ruuvikiinnitys ei toimi. Jos viilukate kiinnitettäisiin vain yksittäisillä ruuveilla, kohdistuisi pienelle pinta-alalle liian suuri voima eikä rakenne kestäisi. Jos viilu murtuu, muuttuu kiinnityskohta hyödyttömäksi.

Koska ruuvit eivät yksinään toimi pienen kiinnityspinta-alan vuoksi, on pinta-alaa kasvatettava. Tähän on monta eri keinoa. On mahdollista käyttää esimerkiksi useampaa ruuvia yhdessä kiinnityspisteessä yhdistettynä pieneen vaneripalaan. Kun käytetään useampaa ruuvia, jakautuu alueelle kohdistuva pinnan suuntainen voima useampaan kohtaan (kuva 17). Vaneripala auttaa jakamaan pintaa kohtisuoraan kuormittaman voiman isommalle pinta-alalle (kuva 18).



Kuva 17. Tangentiaalisen voiman jakautuminen



Kuva 18. Normaalivoiman jakautuminen

Toinen vaihtoehto on liimata kiinnikkeet kiinni katteen sisäpintaan. Kiinnikkeet kiinnitetään runkoon joko ruuveilla tai runkoon valmistetuilla pidikkeillä. Jälkimmäisessä vaihtoehdossa kiinnikkeistä tehdään koukut, joiden avulla kate tavallaan roikkuu rungon päällä. Tämä helpottaisi katteen riisumista rungon päältä.

7 Käytäntö

Suureksi harmikseni en päässyt istuttamaan katteita rungon päälle. Tämä johtui lähinnä rungon suunnittelussa ilmenneistä ongelmista. Nämä ongelmat hidastivat piirustuskuvien valmiiksi saamista. Tämän johdosta rungon valmistukseen olisi jäänyt aivan liian vähän aikaa. Projektin peruuntuminen ei niinkään muuttanut tätä opinnäytetyötä kuin tätä osiota.

Kerkesin käyttämään paljon aikaa materiaalien testaamiseen ja hankkimiseen sekä suunnitteluun. Käytännössä projekti oli omalta osaltani jo valmistusta vaille valmis. Tietysti paljon fyysistä työtä jäi jäljelle, mutta olisi ollut hienoa nähdä oma luomus valmiina ja kilparadalla.

Tämä työ jää kuitenkin elämään joko valmiina suunnitelmana tai apuna suunnittelussa seuraavalle projektin jatkajalle. Toivon, että tästä työstä on apua tulevaisuudessa. Haluaisin myös joskus nähdä valmiin laitteen ja varsinkin siihen suunnitellun katteen, jos ei itseni, niin jonkun tulevaisuuden insinööriopiskelijan valmistamina.

8 Pohdintaa

Kun kuulin tästä projektista ensimmäistä kertaa, olin erittäin innostunut aiheesta. En ollut aikaisemmin työskentelemään muotoilun tai varsinkaan automuotoilun parissa. Tämä osaltaan toi tietynlaista jännitystä mukaan. Minun ei tarvitsisi vain käyttää ammattikorkeakoulussa oppimiani taitoja, vaan opetella myös jotain ennestään tuntematonta. Siinä olikin luultavasti pääsyy, minkä takia tämän työn halusin tehtäväkseni.

Kuten arvata saattaa, työ alkoi hyvin verkkaisesti. Koska tehtävänkuvani oli alussa minulle hieman epäselvä, en osannut ottaa siitä niin hyvin kiinni. Pari ensimmäistä kuukautta menikin pohtiessa työn todellista laajuutta ja siihen sisältyviä asioita. Pikkuhiljaa alkoi homma kuitenkin selkiytyä ja sain ensimmäiset luonnokset mahdollisista katemalleista aikaiseksi.

Työn edetessä eteen tuli jatkuvasti uusia asioita ja haasteita. Yhtenä isompana haasteena toimi nimenomaan se, että koko sisältö oli käytännössä omissa käsissäni. Tämä työ sisältää ne asia, joita itse valitsin, keksin ja löysin aiheesta. Koska visuaalinen suunnittelu eroaa paljon mekaanisesta suunnittelusta, oli siinä paljon asioita, joista en tiennyt ja jotka minun piti selvittää. Tässä suunnittelutyössä käytin kuitenkin myös samoja tekniikoita ja samankaltaista prosessia, kuin mekaanisten laitteiden suunnittelussa aikaisemmin opinnoissani. Mutta näin jälkepäin ajatellen ne haasteet, joita työn aikana koin, olivat myös työn parasta antia.

Kaiken kaikkiaan työ sujui mielestäni hyvin, vaikka alku sujuikin verkkaisesti. Loppurutistus olisi saattanut olla helpompi, jos olisin antanut projektille enemmän aikaa heti alkuun. Mielestäni tämä oli kuitenkin erittäin opettavainen ja kokemusrikas projekti. Ja työn lopusta voi aina ottaa oppia työelämään ja siellä vastaan tuleviin projektien crunch-vaiheisiin eli loppurutistuksiin.

Alussa minulla oli omat epäilykseni omista kyvyistäni luoda jotain taiteellista ja näyttävää. En ole koskaan ollut mikään kummoinen piirtäjä. Epäilykseni osoittautuivat kuitenkin vääriksi. Olen erittäin tyytyväinen katteen lopulliseen ulkonäköön. Siinä yhdistyy virtaviivaisuus, luonnollinen pehmeys ja nopeuden tuntu.

Myös materiaalien puolesta olen tyytyväinen tekemiini ratkaisuihin. Hain katteelle mahdollisimman ympäristöystävällistä ja samalla käytännöllistä ratkaisua. Jos katteet haluaa polttaa, niistä jää jäljelle vain tukikehikkona toimiva rautalankaverkko. Sen voi helposti kierrättää käytettäväksi muissa kohteissa.

Kokonaisuudessaan olen tyytyväinen projektin onnistumiseen suunnittelun osalta. Olisin mielelläni rakentanut katteen valmiiksi asti, mutta se ei valitettavasti ollut mahdollista. Olen iloinen, että sain osallistua tähän projektiin ja sain siitä enemmän kuin olisin osannut kuvitella.

Kuvat

Kuva 1. Pisaramuoto s.13

Kuva 2. Katemalli 1 s.13

Kuva 3. Katemalli 2 s.13

Kuva 4. Katemalli 3 s.14

Kuva 5. Konseptikuva s.14

<http://adanart.deviantart.com/art/EXOTIC-CAR-SKETCH-298642247>

Kuva 6. Haukka s15

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Peregrine_Falcon_Kobble_Apr07.JPG

Kuva 7. Haukkakate s16

Kuva 8. Alkuperäinen malli s.18

Kuva 9. Lopullinen malli ylhäältä ja sivulta s.18

Kuva 10. Lopullinen malli s.19

Kuva 11. Katteen väritys s.20

Kuva 12. Ominaisuusprofiilitaulukko s.22

Kuva 13. Kateprototyypin sisäpinta s.24

Kuva 14. Kateprototyypin ulkopinta s.25

Kuva 15. Kosteuden vaikutus s.26

Kuva 16. Reunan suojaus s.28

Kuva 17. Tangentiaalisen voiman jakautuminen s.29

Kuva 18. Normaalivoiman jakautuminen s.29

Lähteet

1. Joulella pisimmälle - kilpailun säännöt
http://www.lut.fi/documents/10633/258891/Joulella+pisimm%C3%A4lle+kilpailukutsu-s%C3%A4nn%C3%A4nn%C3%B6t_2014_modattu.pdf/962de81a-5116-4429-98d5-a4fe79afddd3 (Luettu 10.01.2014)
2. Beginner's Guide to Aerodynamics, NASA
<http://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/bga.html> (Luettu 12.03.2014)
3. Aerodynamiikka ja ajovastukset
http://www.motiva.fi/liikenne/henkilautoilu/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/aerodynamiikka_ja_ajovastukset (Luettu 14.03.2014)
4. Volkswagen XL1 kulutus
<http://autohullut.fi/etusivu/volkswagenin-xl1-tulossa-geneven-autonayttelyyn-2013-kulutus-0-9-l100-km/> (Luettu 14.03.2014)
5. Toyota Plus, 4/2013
http://www.toyota.fi/images/ToyotaPlus_04_2013.pdf (Luettu 02.05.2014)
6. Kinnari Ari, Auton hyvä muotoilu on plaseboa itsetunnolle
<http://www.hs.fi/paakirjoitukset/a1397193007668> (Luettu 13.04.2014)
7. Luonnostelu ja visualisointi suunnittelussa
http://mlab.taik.fi/polut/Design/lisatieto_luonnostelu_visualisointi.html
(Luettu 02.03.2014)
8. Maston - kotisivut
<http://www.maston.fi/products/fi/category/10/100/h2o-sarja-spray> (Luettu 10.04.2014)
9. Meskanen Seija, ValuAtlas – Suunnittelijan perusopas
http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/perusopas_13.pdf (Luettu 10.03.2014)
10. Aika, joka jätteilä kestää maatua luonnossa, U.S. National Park Service; Mote Marine Lab, Sarasota, FL.
http://des.nh.gov/organization/divisions/water/wmb/coastal/trash/documents/marine_debris.pdf (Luettu 02.05.2014)
11. Alakangas Eija, Polttokelpoisten muovien tunnistaminen
http://base.jenergialehti.fi/ebase_filebank/64-Muovin_poltto-ohje.pdf (Luettu 02.05.2014)

12. BMW USA, konseptiautot
<http://www.bmwusa.com/Standard/Content/AllBMW/ConceptVehicles/GI/NA/> Luettu (03.04.2014)

13. Reisch Marc, WHAT'S THAT STUFF?, , Chemical & Engineering News, Copyright © 1999 American Chemical Society
<http://pubs.acs.org/cen/whatstuff/stuff/7707scitek4.html> (Luettu 03.05.2014)

14. HVL Oy kotisivut, Mitä viilu on
<http://www.hvloy.fi/viilutuotteet/> (Luettu 03.05.2014)