

Tomi Timlin

FORMULA 3 -AUTON PENKIN TUOTEKEHITYS

FORMULA 3 -AUTON PENKIN TUOTEKEHITYS

Tomi Timlin
Opinnäytetyö
Kevät 2020
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, koneautomaatio

Tekijä: Tomi Timlin

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Formula 3 -auton penkin tuotekehitys

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Product Development of Formula 3 Car Seat

Työn ohjaaja: Timo Väyrynen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2020

Sivumäärä: 38 + 2 liitettä

Opinnäytetyössä tehtiin konseptisuunnitelma yksilöllisen F3-auton penkin valmistamiseksi. Valmistusmenetelmäksi valikoitui systemaattisen selvitystyön perusteella polyuretaanin paisutus muottiin. Perinteistä valmistusmenetelmää pyrittiin yksinkertaistamaan ja nopeuttamaan sekä käyttämään 3D-mallia penkin valmistuksessa. Penkin materiaalivalinnalla parannettiin penkin mekaanista kestävyyttä, joka oli todettu heikoksi.

Konseptisuunnitelman tekemiseen käytettiin systemaattisen tuotekehityksen menetelmiä. Valmistusmenetelmiä ja materiaaleja tutkittiin ja arvioitiin järjestelmällisesti sekä valittiin lopullinen toteutusvaihtoehto viidestä eri toteutusvaihtoehdosta. Työssä tutkittiin erityisesti uudenlaisten valmistusteknologioiden antamia mahdollisuuksia.

Muotin suunnittelussa käytettiin käänteismodellinnusta 3D-mallin saamiseksi kuljettajan kehon muodoista. 3D-mallin luonti sisälsi nykyisen penkin 3D-skannauksen ja skannausdatan käsittelyn. Penkin 3D-mallin pohjalta suunniteltiin kustannustehokas muotti, joka mahdollistaa yksilöllisen penkin valmistamisen eri kuljettajille. Muotista tehtiin toimeksiantajalle DFX-kuvat vesisuihkuleikkausta varten ja käyttöohje muotin kokoonpanoon.

3D-skannauksessa käytettiin Artec Eva -skanneria ja Artec Studio 14 -ohjelmaa. Valmista pistepilveä muokattiin Meshmixer-ohjelmalla. Muotin suunnittelussa käytettiin Solidworksia.

Lopputuloksena onnistuttiin luomaan tavoiteltu konseptisuunnitelma yksilöllisen ja kestävyysvaatimukset täyttävän F3-auton penkin valmistamiseen. Konseptisuunnitelman pohjalta voidaan valmistaa ensimmäinen prototyyppipenkki. Sen jälkeen voidaan siirtyä tarkkaan tuotesuunnitteluun ja parantaa yksityiskohtia.

Asiasanat: tuotekonsepti, konseptisuunnitelma, 3D-mallinnus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering, Option of Machine Automation
Engineering

Author: Tomi Timlin

Title of thesis: Product Development of Formula 3 Car Seat

Supervisor: Timo Väyrynen, Johnny Pehkonen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2020

Pages: 38 + 2 appendices

In the thesis, a concept plan was made for the manufacture an individual a seat for a F3 car. Based on the systematic investigation, the expansion of polyurethane into the mold was selected as the manufacturing method. The aim was to simplify and speed up the traditional manufacturing method and to use a 3D model in the manufacture of the seat. By the choice of material for the improved the mechanical strength of the seat was improved, which had been found to be poor.

Systematic product development methods were used to make the concept plan. Manufacturing methods and materials were systematically studied and evaluated, and the final implementation option was selected from five different implementation options. In this work, the possibilities offered by new types of manufacturing technologies were studied in particular.

The design of the mold used inverse modeling to obtain a 3D model of the shape of the driver's body. Creating a 3D model included 3D scanning of the current seat and processing of the scan data. Based on the 3D model of the seat, a cost-effective mold was designed that allows the production of an individual seat for different drivers. DFX images of the mold were made for the client for water jet cutting as well as instructions for the assembly of the mold.

In the 3D scanning an Artec Eva scanner and the Artec Studio 14 software were used. The finished point cloud was modified with Meshmixer. SolidWorks was used in the design of the mold.

As a result, a concept plan for the production of an individual and durable F3 car seat was created. Based on the concept plan, the first prototype seat can be manufactured. After that, it is possible to continue with a more detailed product design and improve the details.

Keywords: Product concept, concept plan, 3D-model

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
1.1 Työn taustaa	7
1.2 Työn tavoitteet	8
2 F3-AUTON PENKKI	10
2.1 Perinteinen valmistustapa	10
2.2 Viralliset säännöt	11
3 TUOTEKEHITYKSEN VAIHEET	12
3.1 Konseptisuunnittelu	12
3.2 Vaatimukset	13
3.3 Ongelman selkiyttäminen	13
3.4 Toteutusvaihtoehtojen muodostuminen	15
3.5 Valmistusmenetelmien kartoitus	16
3.6 Lopullisen toteutusvaihtoehdon valinta	17
3.6.1 Materiaalin valinta	18
3.6.2 Valmistusmenetelmän valinta	20
3.6.3 Polyuretaanivaahdon paisutus muottiin	21
4 KONSEPTISUUNNITELMAN KONKRETISOINTI	22
4.1 Takaisinmallinnusprosessi	22
4.2 Penkin 3D-skannaus	23
4.2.1 Jälkikäsitteily	24
4.2.2 STL-tiedostotyyppi	26
4.3 Muotin suunnittelu	26
4.3.1 Muotin rakenne	28
4.3.2 Muotin kustannusarvio	30
5 TUOTEKEHITYKSEN TULOKSET	32
6 YHTEENVETO	35
LÄHTEET	37

LIITTEET

Liite 1 Valmistusmenetelmän valintataulukko

Liite 2 Vaatimuslista

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä tehdään konseptisuunnitelma F3-auton penkin valmistamiseksi uudella valmistusmenetelmällä. Työssä tutustutaan F3-penkin valmistukseen liittyviin sääntöihin ja vaatimuksiin. Konseptisuunnittelussa edetään systemaattisella tuotekehitysmenetelmällä. Penkin materiaalin ja valmistusmenetelmän tutkimustyön jälkeen valitaan toteutusvaihtoehto. Valinnan jälkeen suunnitellaan muotti takaisinmallinnusprosessia käyttäen ja laaditaan valmistukseen tarvittavat dokumentit. Lopuksi tarkastellaan tuloksia ja jatkokehitysvaihtoehtoja.

1.1 Työn taustaa

Toimeksiantajayritys on Head Recycle Systems Oy, joka kehittää ja valmistaa laitteita, jotka automatisoivat muovin kierrätyksen. Yrityksen perustivat toimitusjohtaja Johnny Pehkonen ja teollisuusneuvos Veikko Lesonen vuonna 2018, ja se kuuluu Head Invest -konserniin. Työ liittyy FIA:n formula 3 -luokan kilpa-autoon (kuva 1). Yrityksen taustajoukot olivat F3-kilpa-autotallin toiminnassa mukana, jonka kautta tuli tarve tähän työhön.



KUVA 1. F3-auto

Toimeksiantaja haastatteli kuljettajia ennen tämän työn aloittamista auton mahdollisista kehityskohteista. Yksi kehityskohde oli kuljettajan penkki (kuva 2).



KUVA 2. F3-auton penkki

Perinteisesti penkki valmistetaan käsityönä valamalla uretaanista kuljettajan kehon muotojen mukaan. Kuljettajan täytyy olla aina paikan päällä, kun uusi istuin valmistetaan. Istuin ei kestä kunnolla käytössä sille kohdistuvia rasituksia, jolloin se halkeilee eikä näin ollen täytä sille asetettuja kestävyysvaatimuksia. Näiden ongelmien vuoksi haluttiin kehittää menetelmä, jossa kestävämpiä penkkejä voidaan valmistaa useita kappaleita ilman kuljettajan läsnäoloa.

1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on systemaattista tuotekehitysprosessia hyödyntäen tutkia ja selvittää optimaalisin valmistusmenetelmä ja materiaali yksilöllisen penkin valmistamiseksi. Penkin muodon kopiointiin käytetään 3D-skannausta ja skannausdatan käsittelyyn etsitään menetelmät, jotta toimiva 3D-malli saadaan tehtyä. Lisäksi tehdään konseptisuunnitelma valitusta valmistusmenetelmän soveltamisesta tähän työhön ja luodaan suunnitelma ja dokumentit, joiden avulla voidaan valmistaa prototyyppipenkki, joka täyttää työn tilaajan vaatimukset.

Tavoitteena on konseptisuunnitelma, jolla on uutuusarvoa ja sisältää uudenlaista teknologiaa perinteisen valmistusmenetelmän korvaamiseksi. Kustannukset pyritään pitämään matalana, vaikka varsinaista budjettia työlle ei annettu.

Kuljettajan kehon muodot 3D-skannataan ja siitä luodaan 3D-malli, jonka pohjalta voidaan valmistaa samanlaisia penkkejä useita kappaleita. Tässä työssä kuljettajan kehon muodot saatiin olemassa olevasta penkistä.

Penkin mekaanista kestävyyttä haluttiin parantaa materiaalivalinnalla. Istuimen ulkonäköön toivottiin parannusta, koska tällä hetkellä se on pinnaltaan epätasainen.

Asiakkaalla oli lisätoivomuksena aikataulun salliessa pienentää istuimen ulkomitoja ja moottorista tulevaa lämpökuormaa, josta kuljettaja kärsii ajon aikana. Nämä otetaan suunnittelussa huomioon, jos löydetään valmistustekniikka, johon nämä ovat kohtuudella tehtävissä.

2 F3-AUTON PENKKI

Penkki on yksi tärkeimmistä osista autoissa. Tuntuma autoon ja jokaiseen pie-
neen yksityiskohtaan tapahtuu fyysisesti penkin kautta. Kuljettajalle on yksilöllii-
sesti valmistettu penkki, joka on muotoiltu tarkasti kehon muotojen mukaan. (1.)
Suuret G-voimat mutkissa aiheuttavat sen, että kuljettajan täytyy olla todella tu-
kevasti ohjaamossa, jotta kuljettajasta saadaan paras suorituskyky irti.

2.1 Perinteinen valmistustapa

Penkki valmistetaan alusta loppuun käsityönä. Valmistusprosessin aluksi kuljet-
taja menee auton ohjaamoon haalareihin, käsineisiin, kilpakenkiin ja kypärään
pukeutuneena. Kilpailuolosuhteita pyritään mallintamaan mahdollisimman realis-
tisesti (kuva 3).



Using expanding foam to get the shape of the driver's body. © Craig Scarborough.

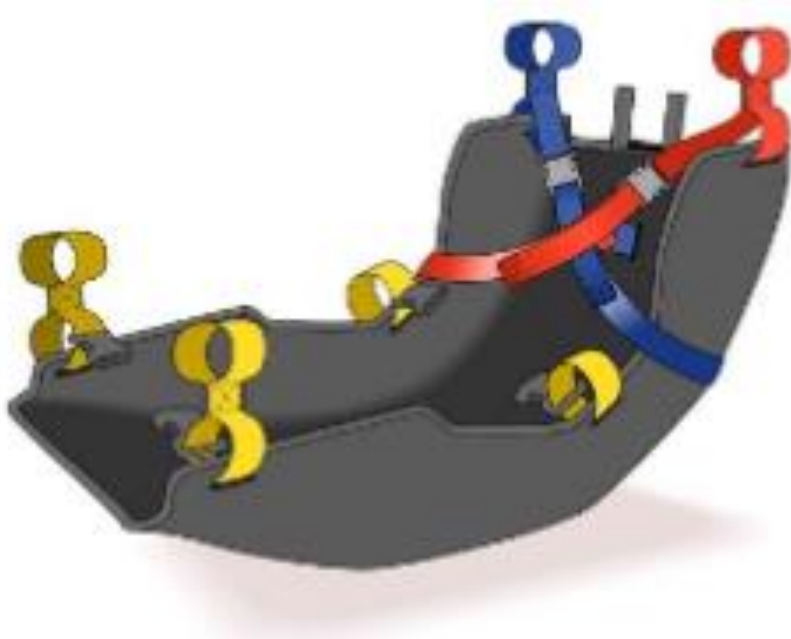
KUVA 3. Penkin valmistusta, jossa kuljettaja on ajoasennossa (1)

Kuljettaja istuu muovipussin päälle, joka on täytetty 2-komponenttisella uretaa-
nivaahdolla, joka mukautuu tarkasti kuljettajan kehon muotoihin. Kuljettaja istuu
paikoillaan noin puoli tuntia, kunnes vaahto on kovettunut. Valuprosessin jälkeen
tehdään käsityönä 6-pistevoïden aukot ja muut muokkaukset kuljettajan mielty-
mysten mukaan. Lopuksi penkki päällystetään palonkestävällä kankaalla. (1.)

Koko toimenpide vie runsaasti aikaa, koska kaikki tehdään käsityönä mutta prosessi on ratkaisevan tärkeä kuljettajan tuntuman ja mukavuuden kannalta. Valmistusta penkkiä voidaan muokata jälkeinpäin tarpeen mukaan.

2.2 Viralliset säännöt

Penkin valmistukseen ja käyttöön on tiettyjä kansainvälisen autourheiluliitto FIA:n asettamia määräyksiä. Penkki asetetaan ohjaamossa olevan säännöissä tarkasti määritellyn kuvassa 4 olevan turvapenkin päälle. Kolaritilanteessa kuljettaja pysytään turvapenkissä olevien hihnojen avulla nostamaan penkin kanssa pois auton ohjaamosta lisävammojen ehkäisemiseksi. (2, s. 2.)



KUVA 4. FIA:n määrittelemä turvapenkki (vrt. 2, s. 7)

Penkin materiaalivaatimusta ei ole, kunhan se on päällystetty palamattomalla materiaalilla. Turvapenkkiin saa tehdä pieniä muutoksia kuljettajan mukavuuden parantamiseksi, mutta kaikkien turvalaitteiden on oltava käytettävissä. (3, s. 11.)

3 TUOTEKEHITYKSEN VAIHEET

Työssä tehdään konseptisuunnitelma, jossa yhdistyvät tuotekehitysprosessi ja valmistustekniikan valintaprosessi. Työssä on edetty ennalta suunnitellun systemaattisen valintamenettelyn mukaan, jolloin valintoja pystyy perustelemaan paremmin ja arvailuille jäi vähemmän tilaa.

Tässä työssä käytettiin yleisesti tunnettuja systemaattisen tuotekehityksen menetelmiä. Tuotekehitystyössä on kyse uuden tuotteen suunnittelemisesta tai olemassa olevan tuotteen kehittäminen teknisesti paremmaksi ja valmistuskustanuksiltaan edullisemmaksi (4, s. 10).

Vaatimuksia ei asetettu paljoa toiminnallisuudelle ja rakenteelle pois lukien mekaanisen kestävyuden parantaminen. Penkin rakenne on yhtenäinen eikä siinä ole liikkuvia osia tai muita toiminnallisuuksia. Mahdollisuudet penkin rakenteen muuttamiseen olivat rajalliset, joten varsinaista tuotekehitystä tehtiin lähinnä materiaalin valinnassa. Systemaattisen tuotekehityksen painopistealue oli normaalia enemmän tarkoitukseen sopivimman valmistustekniikan valinnassa.

3.1 Konseptisuunnittelu

Tuotteen kehitystyötä edeltää konseptisuunnittelu, joka on yksi työvaihe kaupallistettavaan tuotteeseen. Konseptisuunnittelu voidaan jakaa kahteen osaan: konseptisuunnitteluhankkeisiin ja tuotekehitysprojektin aikana tehtävään konseptisuunnitteluun. (5, s. 16.)

Tuotekehitysvaiheessa etsitään vaihtoehtoisia ratkaisuja teknisille ongelmille, rakenteelle ja ulkonäölle. Tuotekonseptihankkeissa hahmotellaan kokonaisia tuotteita ja niihin liittyviä liiketoimintoja omina kokonaisuuksinaan tutkimalla uusia teknologioita- ja markkinoita. (5, s. 16 - 17.)

Konseptisuunnittelu jakaantuu tuotekehitysprojektien sisällä tehtäviin konsepteihin, sekä kokonaisten tuotteiden hahmottamiseen tuotekonsepteilla. Tuotekonsepteilla hallitaan tutkimus- ja kehityssuuntia. (5, s. 17.)

3.2 Vaatimukset

Työn tilaaja esitteli työn aloituspalaverissa. Silloin luotiin alustava aikataulu, jossa määriteltiin välikatselmointien ajankohdat. Aloituspalaverissa käytyjen keskustelujen pohjalta tehtiin yhdessä työn tilaajan kanssa vaatimuslista (liite 1). Tämän lisäksi FIA:n säännöt ovat perustana suunnittelutyölle. Vaatimuslistan ja sääntöjen pohjalta laadittiin tuotespesifikaatio, jossa vaatimukset käännettiin numeroarvoihin. Nämä luovat rajoitteet ja mahdollisuudet suunnittelutyölle ja valmistustekniikan valintaan.

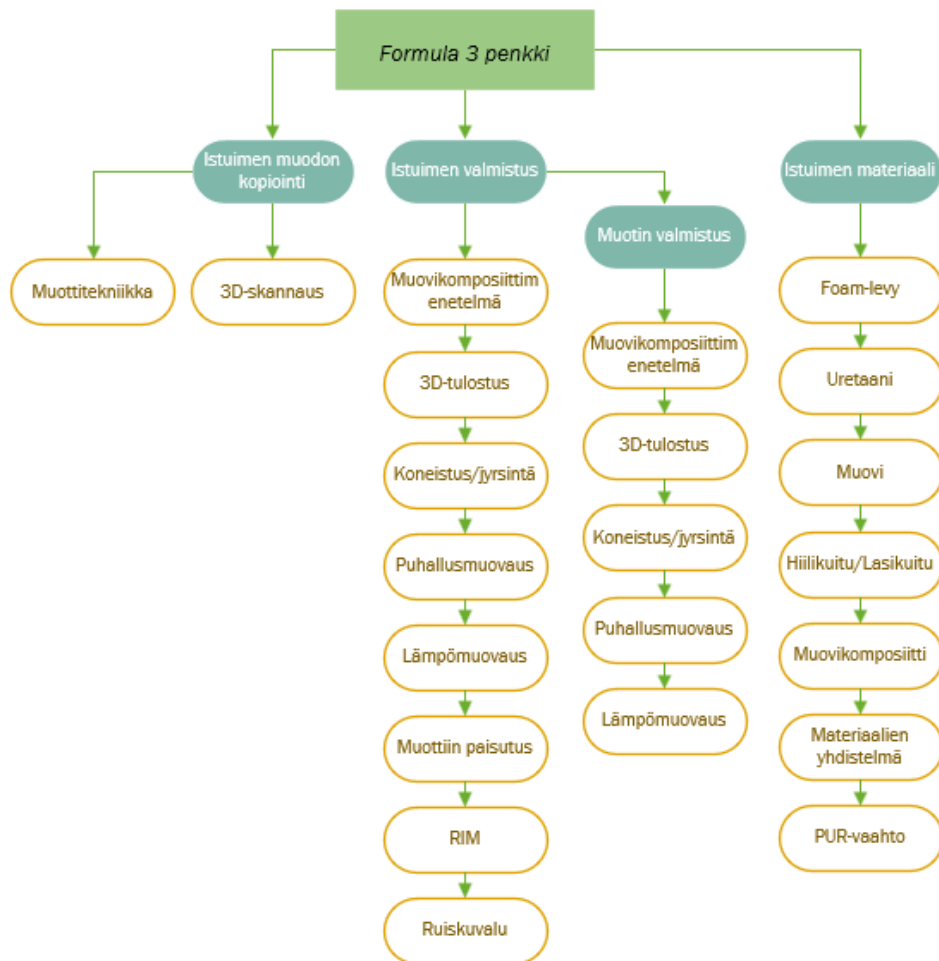
Tuotekehitysprojektin aloittamisen perusedellytys on olemassa tarve tuotteelle ja jonkinlainen visio toteuttamismahdollisuudesta. Pelkkä tarve ei ole riittävä peruste. Tarpeet ja toteuttamismahdollisuudet tapahtuvat yleensä systemaattisen hakutoiminnan tuloksena. (4, s. 18.)

3.3 Ongelman selkiyttäminen

Luonnostelu ja ideointi aloitettiin, kun oli tiedossa penkin vaatimukset. Ideointivaiheessa pyrittiin ottamaan huomioon kaikki mahdolliset valmistusmenetelmät, jotka voisivat soveltua tähän työhön.

Aivoriihi on yksi tunnetuimmista ideointimenetelmistä. Tavoitteena tuottaa mahdollisimman paljon erilaisia ideoita ja näkökulmia, joista soveltuvimpia voidaan jatkojalostaa. Ideoiden toteuttamismahdollisuutta ei ajatella. (4, s. 43 - 44.) Menetelmällä saadaan kokemuksia, näkemyksiä, tietoa ja ideoita.

Ensimmäisenä vaiheena oli kokonaistoiminnon määrittäminen. Se on osatoiminnoista muodostuva kokonaisuus, jonka kehityskohteena oleva tuote pyrkii täyttämään. Kokonaistoiminnon perusteella ei lähdetty suoraan hakemaan ratkaisuvaihtoehtoja vaan jaettiin se neljään osatoimintoon, joilla pilkottiin ongelma useaan osaan (kuva 5).



KUVA 5. Kokonaistoiminto jaettu neljään osatoimintoon ja ratkaisuvaihtoehtoihin

Osatoimintoihin haettiin ratkaisuvaihtoehtoja aivoriihimenetelmällä, asiantuntija-keskusteluiden avulla ja tutkimalla eri valmistusmenetelmiä sekä materiaaleja. Erityisesti tehtiin tutkimustyötä optimaalisen valmistusmenetelmän ja penkin materiaalin löytämiseksi.

Pyrittiin pitämään avoin mieli kaikenlaisille vaihtoehdoille. Tässä vaiheessa karsittiin valmistusmenetelmiä ja materiaaleja, jotka eivät sovi tähän tuotteeseen. Tähän työvaiheeseen käytettiin runsaasti tunteja, jotta saatiin selville mahdollisimman paljon eri vaihtoehtoja.

3.4 Toteutusvaihtoehtojen muodostuminen

Kun kaikkiin osatoimintoihin oli haettu ratkaisuja riittävästi, tehtiin jäsentelykaavio. Eri ratkaisuvaihtoehtoja yhdistelemällä saatiin viisi erilaista toteutusvaihtoehtoa. Toteutusvaihtoehtoista tehtiin kymmeniä luonnospiirroksia ja karkeita 3D-malleja. Valmistustekniikan valintataulukon tuloksia pyrittiin hyödyntämään yhdistelmien luonnissa, jotta ratkaisuvaihtoehdot olivat realistisempia toteuttaa valmistuksen kannalta.

Toteutusvaihtoehdot olivat

- Ve1 eli penkin valmistaminen koneistamalla mallilevystä ja penkin takaosassa on hiilikuituvahvike
- Ve2 eli vaihtoehto, jossa penkin pintaosa on 3D-tuloste ja runko uretaanivaahtoa
- Ve3 eli penkin valmistaminen muotissa uretaanivaahdosta
- Ve4 eli penkin valmistaminen 3D-tulostamalla
- Ve5 eli penkin valmistaminen muotissa uretaanivaahdosta ja penkin takaosassa hiilikuituvahvike.

Jotta teknistaloudellinen arvostelu voidaan suorittaa, on ratkaisuperiaatteista tehtävä konkreettiset ratkaisuluonnokset. Ratkaisuperiaatteita konkretisoidaan niin pitkälle, että niiden hyvät ja huonot puolet on luotettavasti arvioitavissa teknisesti ja taloudellisesti. Arvosteluun liittyy epävarmuutta ja ratkaisujen onnistuneisuutta ei voida tarkasti tietää, ennen kuin idea on toteutettu. (4, s. 76.)

Kun valmistusmenetelmät oli listattu, otettiin yhteyttä eri yrityksiin ja esitettiin heille vaatimuslista sekä karkea luonnos penkistä. Jokaisesta kuudesta valmistusmenetelmästä erikseen otettiin yhteyttä noin viiteen eri yrityksen ja saatiin karkea kustannusarvio 1 - 5 kappaleen prototyypisarjasta. Näiden tietojen pohjalta pystyttiin luomaan jokaiselle ratkaisulle kustannusarvio prototyypin valmistamiseksi (taulukko 1). Niissä ei otettu huomioon suunnittelutyön osuutta.

TAULUKKO 1. Kustannusarvio valitulle toteutusvaihtoehdolle

Toteutusvaihtoehto 3.		
Valmistus	1 kpl	5 kpl
Muottiin paisutus	300 €	500 €
Muotin koneistus	2 000 €	2 000 €
Materiaalit		
PUR-vaaho	50 €	250 €
Muottimateriaali	800 €	800 €
Pintakäsittely	100 €	100 €
Yhteensä:	3 250 €	3 650 €

Seuraavaksi oli vuorossa pistearviointitaulukon laatiminen, jossa viisi toteutusvaihtoehtoa arvosteltiin (taulukko 2). Taulukossa oli yhtenä arviointikriteerinä valmistustekniikan valintataulukon tulokset (liite 1). Muut arviointikriteerit otettiin vaatimuslistasta. Arviointikriteereille annettiin painokertoimet yhdessä toimeksiantajan kanssa.

TAULUKKO 2. Pistearviointitaulukko

Ratkaisuyhdistelmien pistearviointi												
Pohjana vaatimuslista ja valmistustekniikan valintataulukko											versio	0.1
Ratkaisuvaihtoehdot												
Arviointikriteeri	Painokerroin (0.0-1.0)	Ve1		Ve2		Ve3		Ve4		Ve5		
		Arvosana (1...10)	Painotettu arvosana	Arvosana (1...10)	Painotettu arvosana	Arvosana (1...10)	Painotettu arvosana	Arvosana (1...10)	Painotettu arvosana	Arvosana (1...10)	Painotettu arvosana	
Geometrian tarkkuus	0,05	9	0,45	10	0,5	9	0,45	10	0,5	9	0,45	
Paino	0,2	10	2	6	1,2	10	2	5	1	8	1,6	
Rakenteen kestävyys	0,2	9	1,8	8	1,6	9	1,8	7	1,4	9	1,8	
Valmistustekniikan soveltuvuus (Valmistustekniikan valintataulukko pohjana)	0,5	7	3,5	7	3,5	9	4,5	6	3	8	4	
Käytettävyys	0,05	10	0,5	8	0,4	10	0,5	10	0,5	8	0,4	
		45		39		47		38		42		
Yhteensä	1		8,25		7,2		9,25		6,4		8,25	

3.5 Valmistusmenetelmien kartoitus

Jokaisella valmistusmenetelmällä on oma luontainen soveltuvuusalue. Suunnittelijan on valittava valmistusmenetelmä eri vaihtoehtojen hyviä ja huonoja puolia vertaamalla. (6.)

Valmistustekniikan valinta oli isossa osa tämän tuotteen suunnitteluprosessia. Tarkoituksella etsittiin uudenlaisia teknologioita, esimerkiksi 3D-tulostus ja sen soveltamista tähän työhön. Lähtökohtana oli valita eri vaihtoehdoista parhaiten vaatimukset toteuttava valmistusmenetelmä. Haluttiin järjestelmällisesti poissulkea epäsojivat vaihtoehdot ja lopuksi arvioida numeerisesti eri menetelmiä keskenään.

Vaatimuslistassa sarjakoko määritettiin neljään kappaleeseen. Toimeksiantajan pyynnöstä kustannusarviot laskettiin yhden ja viiden kappaleen sarjakoolle.

Menetelmän valinnassa on otettava huomioon (6)

- kappaleen koko ja muoto
- materiaalien ominaisuudet
- investoitavat resurssit
- laatuvaatimukset
- sarjakoko.

Menetelmät jaetaan yleisesti muovaaviin, liittäviin tai materiaalia poistaviin- ja lisääviin menetelmiin. Valmistusmenetelmän valinta on yksi tärkeimmistä asioista suunnitteluprosessissa. Yleisesti valmistusmenetelmän valintaan eniten vaikuttava asia on taloudellinen näkökulma. (6.)

Paras valmistusmenetelmä valitaan vertailemalla keskenään kaikkia tuotteen mahdollisia valmistusmenetelmiä. Valmistusmenetelmän valinnassa otetaan huomioon muotin valmistuksesta, jälkityöstöstä ja pintakäsittelystä aiheutuvat kustannukset. (6.)

3.6 Lopullisen toteutusvaihtoehdon valinta

Pistearvioinnissa toteutusvaihtoehto 3 sai eniten pisteitä ja valittiin toteutettavaksi. Toteutusvaihtoehto valittiin seuraavista syistä:

- yksilöllisen penkin valmistamisen mahdollistavuus
- valitun penkkimateriaalin mahdollistavuus
- kustannustehokkuus
- palonkestävän kankaan muottiin asennettavuuden mahdollistavuus

- isojen määrien valmistaminen edullisesti.

Valitussa toteutusvaihtoehdossa toteutuu yksilöllisen penkin valmistamisen mahdollisuus. Vaihtamalla muotin yläpuoli. Muotin alapuoli on tässä ratkaisussa aina sama kaikille kuljettajille eli se vastaa auton turvapenkin pinnanmuotoja.

Materiaali on hieman joustavaa, jolla nykyisen penkin kestävyysongelma pystytään ratkaisemaan. Paino tulee laskelmien mukaan hieman ylipainoiseksi mutta sitä ei koettu tässä ongelmaksi. Materiaali on halpa, yhden penkin hinnaksi tulee materiaalin osalta noin 30 euroa.

Palonkestävä kangas on periaatteessa mahdollista asentaa muottiin valmiiksi, jolloin työmäärä vähenee ja kangas asettuu pintaan siististi. Muissa vaihtoehdoissa kangas joudutaan laittamaan penkin pintaan käsityönä.

Valmistustekniikan sisältämät kustannukset määräytyvät pitkälti muotin suunnittelu-, materiaali- ja valmistuskustannuksista. Penkin materiaalikustannus jää hyvin pieneksi. Muotin ei tarvitse olla paineen- ja lämmönkestävä, joten se voidaan tehdä halvasta materiaalista.

3.6.1 Materiaalin valinta

Kilpa-autossa jokainen kilogramma heikentää auton suorituskykyä. Olemassa olevan penkin paino on 3 kg. Vaatimuksena oli, että penkin paino saa olla korkeintaan 20 % painavampi. Pelkästään tämä karsi paljon materiaaleja pois koska penkin tilavuus oli noin 39 litraa, sai materiaalin tilavuuspaino olla enimmillään 92 kg/m³. Tämä toi runsaasti haasteita valittavaan materiaaliin. Lisäksi penkin pinnanlaadun täytyi olla sellainen, että palonkestävä kangas tarttuu pintaan.

Materiaaliksi valikoitui joustava Flex Foam- iT!TM 6 polyuretaanivaahdo, jonka tilavuuspaino on 96 kg/m³. Se on samankaltaista polyuretaanivaahdo, jota perinteisesti käytetään F3-autossa kuten kuvassa 7 mutta hieman joustavampaa, jonka ansiosta saavutetaan parempi mekaaninen kestävyys. Materiaaliksi valitulla joustavalla polyuretaanivaahdolla on taipumus olla painavampaa kuin kovalla polyuretaanivaahdolla. Valitulla materiaalilla painovaatimus ylittyy 200 g.



KUVA 6. Alkuperäinen penkki ilman palonkestävää kangasta

Materiaalin joustavuus on suuri etu, kun penkki irrotetaan muotista. Muotissa voi olla negatiivisia päästökulmia, jolloin muotti voidaan valmistaa yksinkertaisemmin ja kustannustehokkaammin kuin joustamattomasta materiaalista tehty penkki.

Erilaisia polyuretaanivaahtoja on lukuisia. Niiden pehmeys, tilavuuspaino ja kimmoisuus vaihtelevat. Vaahtomuovi kestää hyvin säätilan vaihteluita. Lämpötilan kestävyys on noin $-50...+100$ °C. (7).

Polyuretaanin sisältää isosyanaattia, polyolia ja ponneainetta. Polyuretaanin ominaisuuksia ja kemiallista reaktiota voidaan muunnella erilaisilla apuaineilla. (8.)

Raaka-aineiden sekoituksen jälkeen tapahtuu kemiallinen reaktio, jossa vapautuu lämpöä, jonka seurauksena ponneaine kaasuuntuu ja seoksen tilavuus laajenee. Tässä prosessissa syntyy polyuretaanivaahtoa, joka muodostuu pienistä kaasua tai ilmaa sisältävistä soluista. (8.)

3.6.2 Valmistusmenetelmän valinta

Valmistusmenetelmiä vertailtiin ja lopuksi pisteytettiin, jotta pystyttiin valitsemaan tarkoitukseen soveltuvin valmistusmenetelmä. Vertailuun otettiin valmistusmenetelmät, jotka tuntuivat alussa mahdolliselta toteuttaa. Kun kaikkia menetelmiä oli tutkittu tarpeeksi, pystyttiin karsimaan epäsovivat (taulukko 3).

TAULUKKO 3. Valmistusmenetelmien karsinta

Jatkoon	Ei jatkoon
3D-tulostus	Valaminen
RIM (reaktoruiskuvälu)	Puristusmenetelmät (ahto, siirto, taso, kalvo)
Koneistus	Rotaatiovalu
Muottiin paisutus	Paineinjektio (RTM)
Lämpömuovaus	SRIM
Ruiskuvalu	
Puhallusmuovaus	
Alipaineinjektio	
Käsinlaminointi	
Prepreg-laminointi	

Seuraavaksi tehtiin pistearviointitaulukko, johon listattiin jatkoon päässeet menetelmät (liite 1). Taulukon päätarkoituksena on helpottaa toteutettavan vaihtoehdon valintaa vertailemalla menetelmien ominaisuuksia peilaten valmistettavaan penkkiin. Taulukon tuloksia käytetään ratkaisuvaihtoehtojen vertailussa, jossa selviää käytettävä valmistusmenetelmä.

Kokonaisvaltaisen vertailun tekeminen kaikkien valmistusmenetelmien kesken on vaikeaa ennen kuin tuote on valmistettu kullakin menetelmällä. Ajanpuutteen ja turhan työn poistamiseksi menetelmävertailu on perusteltua tehdä jo esisuunnitteluvaiheessa, ennen yksityiskohtaisempaa suunnittelua. (6.)

Koska valmistusmenetelmän valintaprosessiin otettiin kaikki valmistusmenetelmät, jotka tuntuivat mahdollisilta toteuttaa se kasvatti valmistusmenetelmien tutkimustyön laajuutta merkittävästi. Tässä tavassa on hyvät ja huonot puolensa. Toisaalta pystytään karsimaan suuri määrä epäsopivia menetelmiä mutta optimaalisimman valmistusmenetelmän löytämisen todennäköisyys pienenee. Mahdollisten valmistusmenetelmien rajaaminen jo tutkimustyön alussa pieneen määrään olisi mahdollistanut yksittäisten menetelmien tarkemman tutkimisen, koska tälläkin työvaiheella oli aikarajansa.

3.6.3 Polyuretaanivaahdon paisutus muottiin

Polyuretaanivaahdon paisutusta muottiin käytetään silloin, kun valmistetaan esimerkiksi pehmusteita, tynyjä ja teollisuuden tiivisteitä. Muottiin paisutusprosessi on yksinkertainen. Kaksi nestemäistä komponenttia sekoitetaan toisiinsa ja kaadetaan muottiin. Kuvassa 7 seos nousee ja kovettuu kiinteäksi hieman joustavaksi vaahdoksi. Vaahdot vaihtelevat tiheydeltään ja tarjoavat hyvät fysikaaliset ominaisuudet. (7.)



KUVA 7. Kemiallinen reaktio, jossa syntyy polyuretaanivaahtoa (9)

Parhaan tuloksen saavuttamiseksi seos kaadetaan muottiin osittain. Muotissa täytyy olla ilmareiät ilman poistumiselle. Vaahdon annetaan kovettua vähintään 30 minuuttia. Kovettumisaikaan vaikuttaa kappaleen massa. (9.)

Valitun materiaalin haaste on toimivan muotin suunnittelu koska tuote on monimuotoinen ja irrotus mahdollisesti hankalaa negatiivisten päästökulmien takia. Käytettävä polyuretaanivaahdo kuitenkin on hieman joustavaa, joka helpottaa monimuotoisuudesta aiheutuvaa ongelmaa.

4 KONSEPTISUUNNITELMAN KONKRETISOINTI

Tuotekehitystyöllä päästään tuoteinnovaatioon. Se vaatii yleensä teknologista innovaatiota. Uudet tuoteideat syntyvät yleensä konseptoimalla, mikä pakottaa teknologian kehittämiseen ja innovatiivisuuteen (4, s.17). Tässä työssä uutuusarvoa sisältävä konsepti vaati uudenlaisen tekniikan muotin valmistamiseen edullisesti.

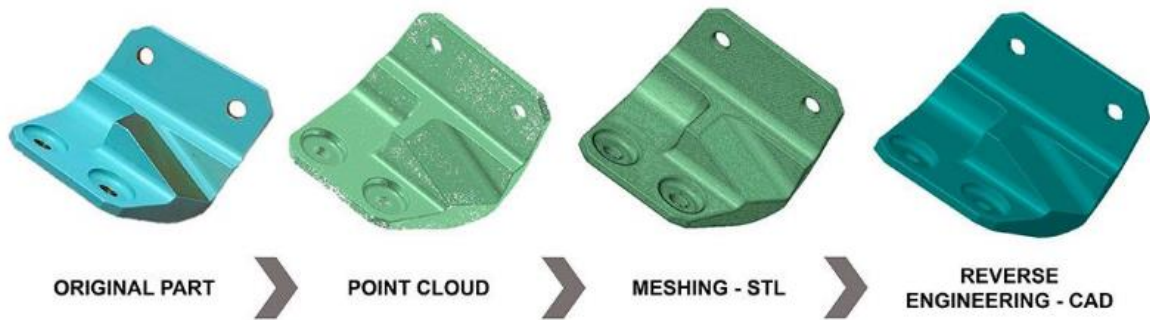
Muotin suunnittelu aloitettiin valmistustekniikan ja materiaalivalinnan jälkeen. Muotista suunniteltiin mahdollisimman yksinkertainen ja helppokäyttöinen. Työn tilaajan vaatimuksena oli saada vesileikkauksessa tarvittavat DFX-mallit, materiaalitiedot ja käyttöohjeet.

Muotin suunnittelua varten täytyi penkistä olla 3D-malli. Koska penkistä ei ollut piirustuksia eikä 3D-mallia, ne täytyi luoda itse. Tehtiin penkin 3D-skannaus. Tarkoituksena oli hyödyntää 3D-skannauksesta saatua skannausdataa 3D-mallin teossa.

4.1 Takaisinmallinnusprosessi

Perinteisessä koneensuunnittelussa suunnitteluprosessin lähtökohtana on vaatimuslista ja tuotespesifikaatio, joiden pohjalta suunnittelija luo periaatteessa tyhjästä tietokoneavusteisesti 3D-mallin ja piirustukset, joita käytetään tuotteen valmistusprosessissa. Sitä vastoin käännteissuunnittelussa lähtökohta on valmis tuote.

Suunnittelija työskentelee vastakkaiseen suuntaan suunnitteluprosessissa kuten kuvassa 7 saadakseen selville tuotteen tuotespesifikaation. Prosessin aikana löydetään olennaista tietoa suunnittelukonseptista ja valmistusmenetelmistä. Nykyaikana tähän käytetään 3D-skannausta ja koordinaattimittalaitteita. Käännteinen suunnittelun avulla voidaan analysoida olemassa olevan tuotteen fyysiset mitat, ominaisuudet ja materiaalien ominaisuudet. (10.)



KUVA 8. Takaisinmallinnusprosessin periaatekuva (10)

Takaisinmallinnusmenetelmällä eli käänteisellä suunnittelulla saadaan seuraavia hyötyjä (10):

- Voidaan tehdä 3D-malli ja 2D-piirustukset olemassa olevasta tuotteesta.
- Vaikka alkuperäisen laitteen valmistaja ei ole enää markkinoilla eikä suunnittelutietoa ole saatavilla, saadaan tuotetiedot tuotteen valmistuksen jatkamiseksi.
- Kilpailija-analyysin avulla voidaan analysoida kilpailijan tuotteita.
- Käytetään lisäävän valmistuksen menetelmissä yleisesti.
- Koska fyysinen malli on tietolähde CAD-mallille, voidaan orgaanisiakin muotoja sisältävä tuote suunnitella tarkasti ja luotettavasti.

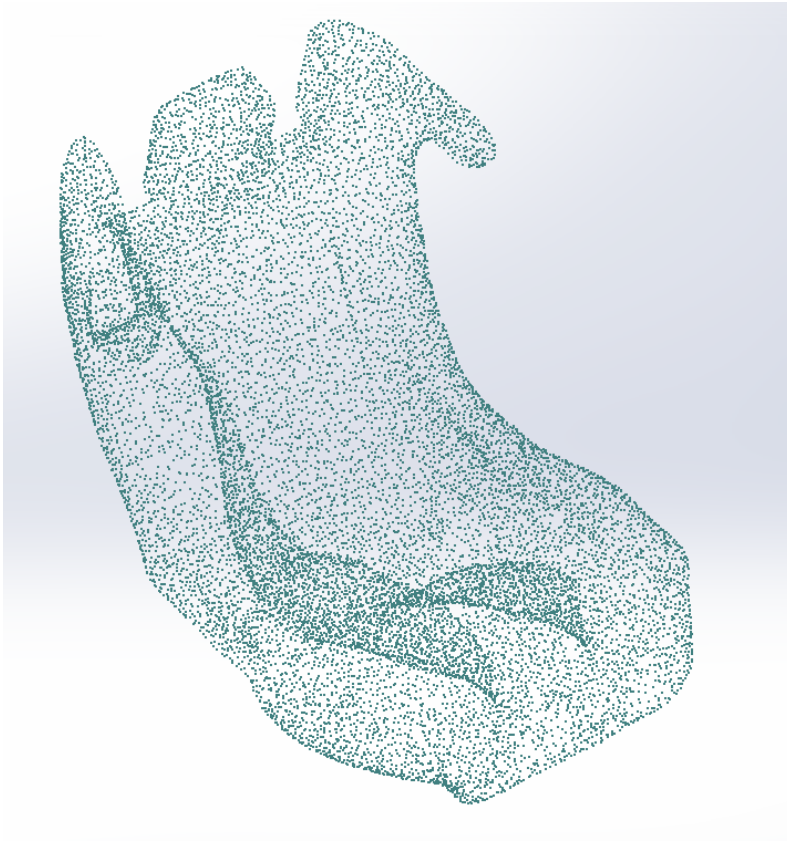
4.2 Penkin 3D-skannaus

3D-skannauksen tarkoituksena on yleensä luoda 3D-malli. Lähes kaikki 3D-skannerit tuottavat pistepilven skannattavasta pinnasta. Yksinkertainen pistepilvi sisältää pitkän luettelon pisteen XYZ-koordinaattitietoa. 3D-skanneri kerää etäisyystietoa näkökenttensä pinnoista. Skannerin kappaleen pinnasta tuottaman kuvan ja etäisyystiedon perusteella pystytään tunnistamaan pisteiden kolmiulotteinen sijainti. (11.)

Penkki 3D-skannattiin Artec Eva -käsiskannerilla. Skanneri kuvaa kappaleen pintaa ja tunnistaa tekstuurikamerallaan referenssipisteiden avulla sijaintinsa. Hyvän valaistuksen ansiosta penkin mattamusta pinta ei aiheuttanut ongelmia skannaukseen. Skannaus tehtiin useita kertoja ympäri penkkiä ja pyrittiin saamaan kuvaan kaikki kolot ja pinnat.

4.2.1 Jälkikäsittely

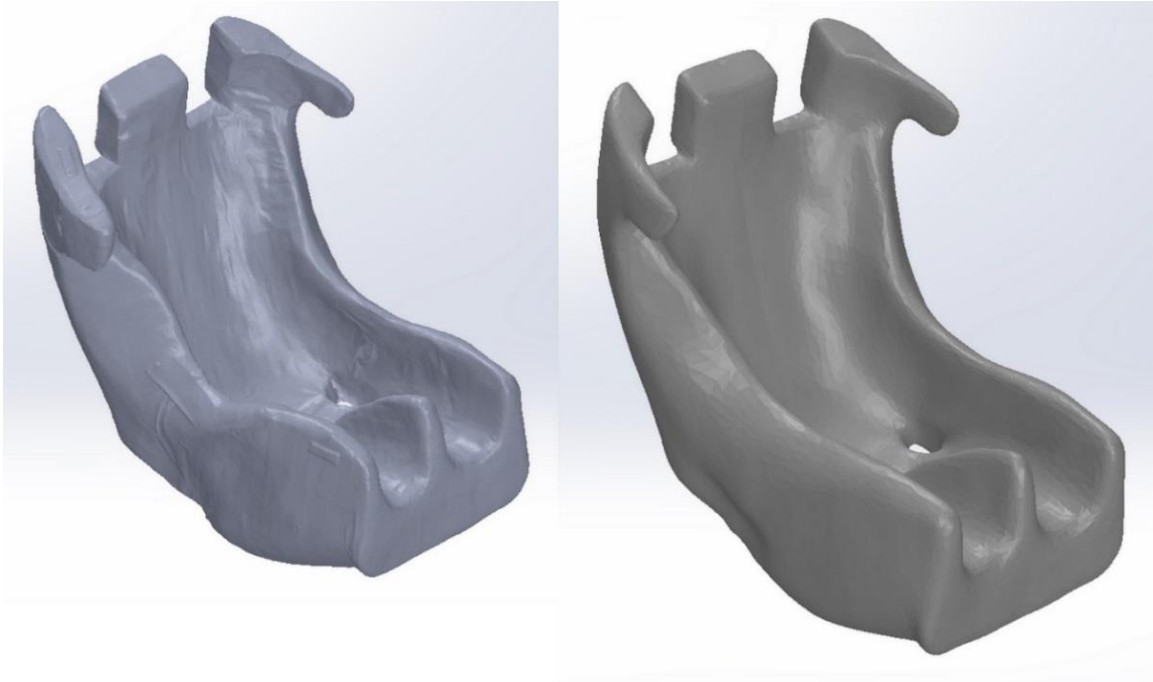
Skannaukseen ja jälkikäsittelyyn käytettiin Artec Studio 14 -ohjelmaa. Työssä käytettiin ohjelman sisältämää Autopilot-jälkikäsittelytoimintoa. Valmis pistepilvi-tiedosto (kuva 8) saatiin kohtuullisen helposti ja se oli tarpeeksi tarkka ja laadukas jatkojalostukseen.



KUVA 9. Pistepilvi

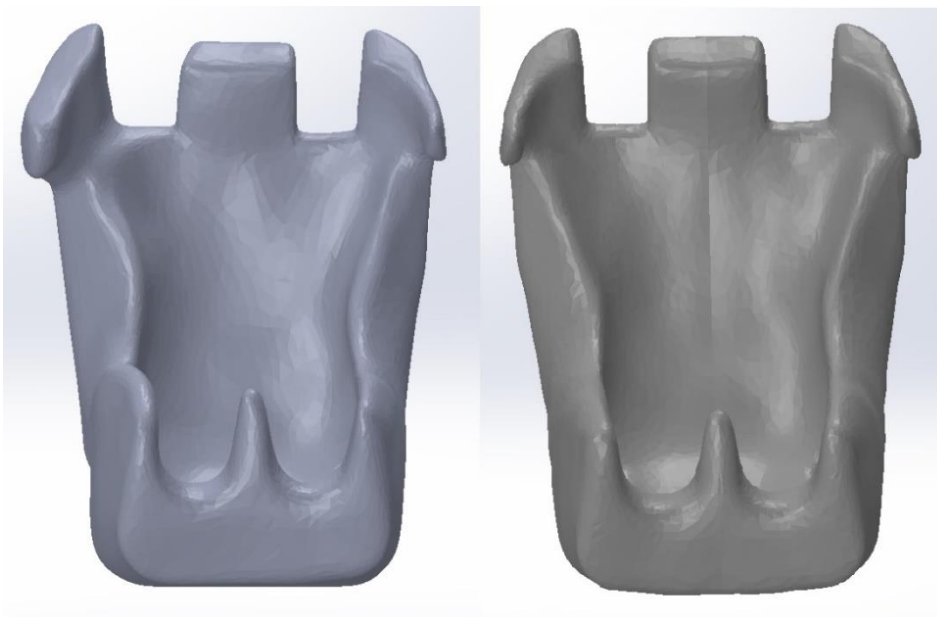
3D-mallia alettiin luomaan pistepilvitiedoston päälle pintamallinnusmenetelmällä. Penkin muodot osoittautuivat haastavaksi ja aikaa vieväksi tehdä pintamallintamalla. Pistepilveä jouduttiin yksinkertaistamaan ja silti pintojen mallintaminen oli haastavaa ja lopulta päätettiin käyttää pistepilven hallintaa 3D-mallin luontiin.

Pistepilven hallintaan löydettiin Autodesk Meshmixer -ohjelma, jonka avulla pistepilveä pystyttiin tasoittamaan ja muokkaamaan. Näiden toimenpiteiden jälkeen se voitiin kääntää STL-tiedostomuotoon. Muokkaamattoman pistepilven kääntäminen suoraan 3D-malliksi olisi jättänyt pinnan epätarkaksi ja siten käyttökelvottomaksi (kuva 9).



KUVA 10. Pistepilvestä luotu STL-tiedosto ennen ja jälkeen käsittelyn

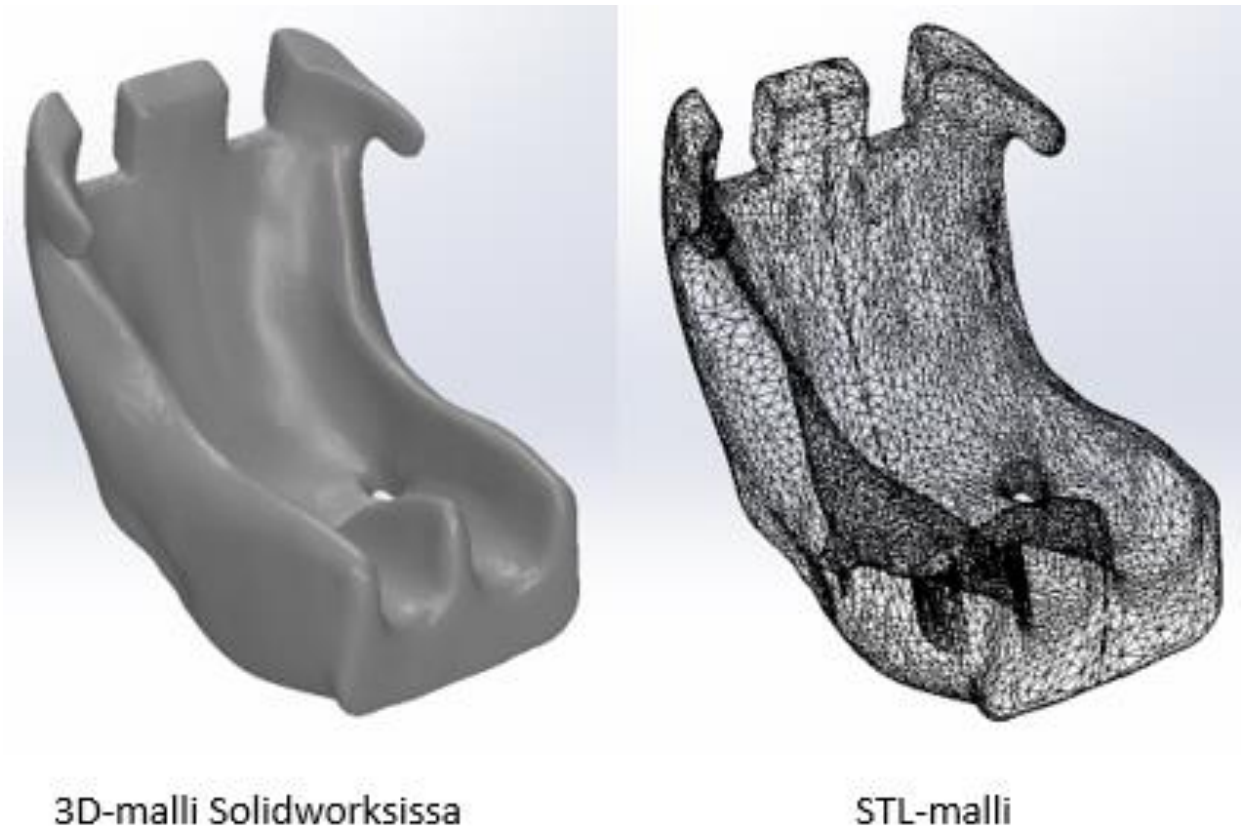
Kun käyttökelpoinen STL-tiedosto penkistä oli valmis, tuotiin tiedosto Solidworksiin, jossa se käännettiin 3D-malliksi. Mallista tehtiin symmetrinen peilaamalla sen toinen puoli keskikohtaan nähden (kuva 10). Tällä tavalla muotin suunnittelu helpottuu, koska se voidaan tehdä keskikohtaan nähden symmetriseksi. Takaisinmallinnusprojektin onnistuminen oli yksi tämän työn tärkeimpiä tuloksia.



KUVA 11. 3D-malli ennen ja jälkeen peilauksen

4.2.2 STL-tiedostotyyppi

STL-tiedostotyyppissä mallin pinnat esitetään absoluuttisen tarkasti tasokolmioiden avulla. Jokaisen tasokolmion normaalin suuntavektori sekä nurkkapisteiden koordinaatit esitetään STL-tiedostossa. Pienet tasokolmiot mahdollistavat tarkan pinnan. Tarkka STL-tiedosto on aina tiedostokooltaan suurempi kuin epätarkka. (12.) Tässä työssä mallista voi havaita kolmiot mutta pinnanlaatu muotin tekoa varten on riittävä. Kuvassa 11 esitetään STL-mallin ja 3D-mallin ero.



KUVA 12. 3D-malli konvertoitu STL-tiedostosta

4.3 Muotin suunnittelu

Valitussa toteutusvaihtoehdossa muotti oli tarkoitus valmistaa koneistamalla. Kun muotin yksityiskohtaisempi suunnittelu aloitettiin ja suunnitelman pohjalta tehtiin tarjouspyyntö yritykseen, joka tekee muotin koneistuksia, todettiin 7 000 euron hinta-arvio yhdessä toimeksiantajan kanssa liian kalliiksi. Jos penkkejä alettaisiin tehdä sarjatuotantona isoja eräkokoja hinta olisi ollut sopiva. Vaatimuksena ollut 4 kappaleen sarjakoko tuli koneistetun muotin kanssa kuitenkin liian kalliiksi.

Valmistusmenetelmien kartoitusvaiheessa, jossa tehtiin kustannusarvio toteutusvaihtoehtoista, ei tarkkaa 3D-mallia ja speksejä muotista ollut vielä olemassa. Tämän takia yrityksistä saatiin hinta-arviot, jotka olivat pienempiä mitä todelliset kustannukset olivat muotin valmistamiselle. Kun 3D-malli valmistui, selkeni muotinvalmistuksen haastavuus ja sen myötä muotin koneistuksen hinta nousi liian isoksi.

Koneistukselle lähdettiin hakemaan kustannustehokkaampaa ratkaisua. Useiden luonnosten pohjalta syntyi idea tarkoitukseen sopivasta menetelmästä. Tässä menetelmässä muotti on jaettu useaan muottiblokkiin (kuva 12), jotka ovat valmistettu useista leikkeistä vesisuihkuleikkaamalla OSB-levystä.



KUVA 13. Kokonaisen muotin puolikas ja penkki

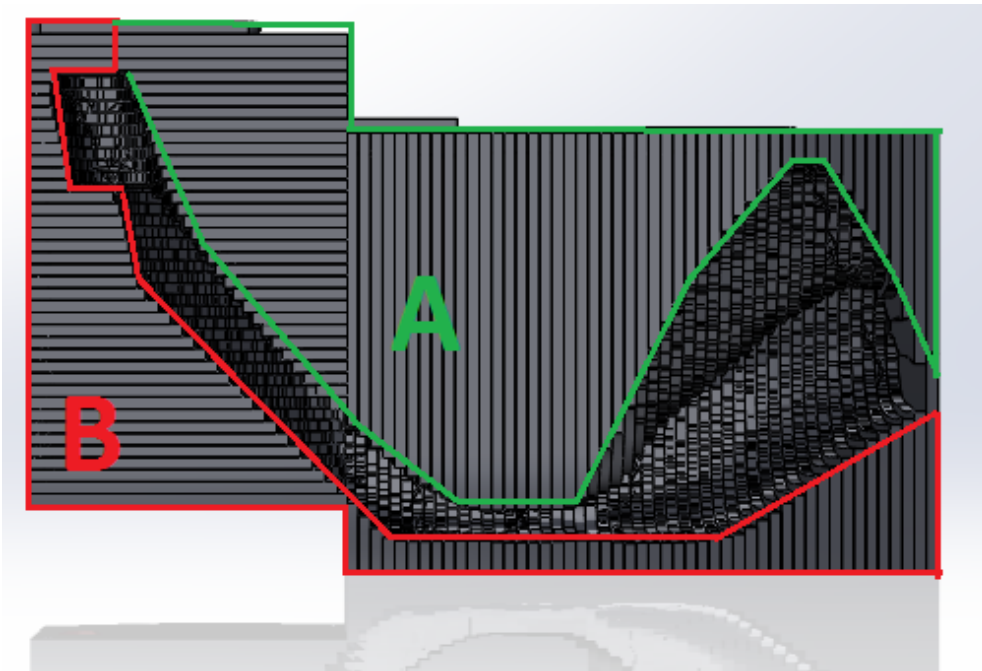
Muotin ei tarvitse kestää lämpöä eikä painetta. Polyuretaanivaahdo laajetessaan aiheuttaa hieman painetta mutta sitä ei suunnittelussa tarvinnut huomioida. Muotin suunnittelussa otettiin seuraavat asiat huomioon:

- penkin irrotuksen onnistuminen muotista

- negatiiviset päästökulmat
- materiaali
- jakopinta
- välykset muottiblokkien välillä
- pintakäsittely
- muottiblokkien kohdistaminen.

4.3.1 Muotin rakenne

Muotti suunniteltiin rakenteeltaan sellaiseksi, ettei naarasmuottia tarvitse tehdä erikseen, kun halutaan tehdä penkki eri kuljettajalle. Jos halutaan tehdä penkki eri kuljettajalle, valmistetaan vain uusi urosmuotti. (Kuva 14.)



KUVA 14. Poikkileikkauskuvassa urosmuotti A ja naarasmuotti B

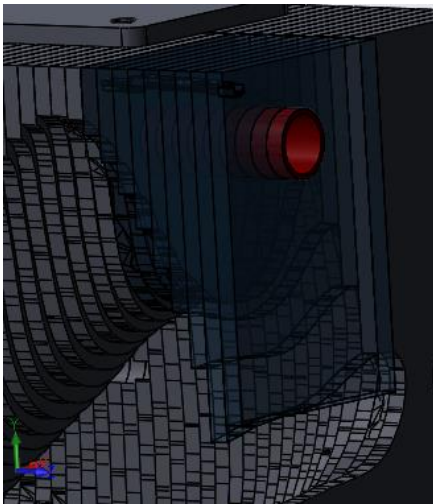
Oletettiin, että kuljettajat ovat tietyn kokoluokan sisällä, ja siksi voitiin naarasmuotti vakioda. Muotin jakopinta voitiin asettaa niin, että se mahdollistaa erilaisien urosmuottien käytön. Naarasmuotti on aina sama, joten sillä saatiin selvää kustannussäästöä ja valmistusaikaa pienemmäksi.

Muottia suunniteltaessa päädyttiin ratkaisuun, jossa muotti on jaettu useaan muottiblokkiin irrotuksen helpottamiseksi. Muottiblokit valmistetaan OSB-levystä

vesileikkaamalla. OSB-levy on kohtuuhintaista ja tarkasti mittaansa puristettua. Muotoon leikatut leikkeet liimataan päällekkäin ja muodostavat muottiblokin.

Muottiblokit suunniteltiin niin, että ne irtoaisivat helposti valmiista penkistä. Ne on sidottu toisiinsa kiinnityslevyillä. Yhteensä muotti sisältää kymmenen muottiblokkia ja ne on sijoitettu niin, että niiden irrotus on mahdollista, kun muotti on täynnä polyuretaanivaahtoa. Muotin paino ja äärimitat pyrittiin pitämään mahdollisimman pieninä, jotta muotin käyttö on helppoa. Muottiin tehtiin reikiä polyuretaanivaahdon kaatamista ja ilman poistumista varten.

Leikkeissä on kohdistusreiät, joilla kohdistusputken avulla kohdistetaan levyt toisiaan vasten (kuva 15). Leikkeet mallinnettiin Solidworksissa käyttäen penkin 3D-mallia leikkurina. Vesisuihkuleikkurilla ei voida leikata viistoon, joten levyt mallinnettiin leikattavasta kohdasta kohtisuoraan levyn pintaan nähden. Jokaisesta leikkeestä tehtiin DFX-tiedostot vesisuihkuleikkausta varten.

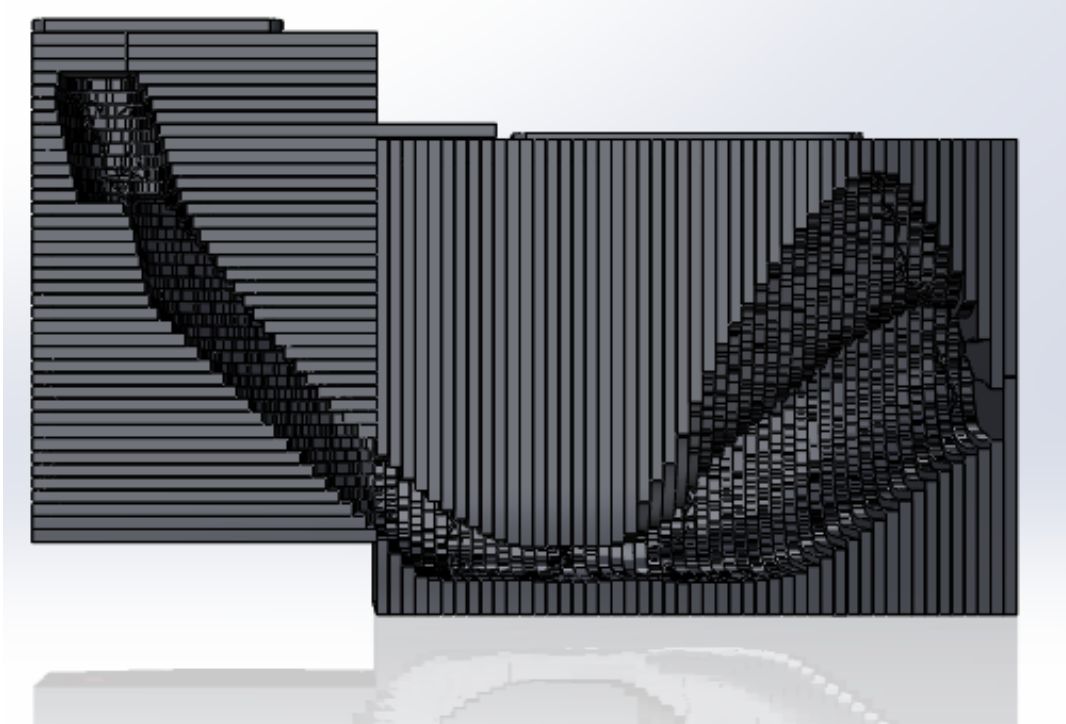


KUVA 15. Kohdistusputki muottiblokin sisällä

Jokainen leike koodattiin numerosarjalla, jotta kasausvaiheessa leikkeet osataan kasata oikeassa järjestyksessä. Muottiblokkien sijoittelua varten tehtiin toimeksiantajalle käyttö- ja kasausohje.

Kun muottiblokkien leikkeitä ei koneistettu, vaan osat vesisuihkuleikattiin, muotin pintaan muodostui porrastus (kuva 16). Muotin pinta tasoitetaan tarkoitukseen

soveltuvalla muottipastalla. Muottipastan levityksen jälkeen pinta hiotaan ja pintakäsittelään lakalla irrotuksen helpottamiseksi. Hionta on todennäköisesti muotin teossa eniten aikaa vievä työvaihe. Mahdollisessa jatkokehitysvaiheessa muottia voidaan parantaa niin että porrastuksesta muotin pinnassa päästäisiin eroon.



KUVA 16. Muotin poikkileikkaus, josta näkyy muotin pinnassa oleva porrastus

4.3.2 Muotin kustannusarvio

Muotin materiaaleista laskettiin karkea kustannusarvio (taulukko 4). Työtunneista tulevia kustannuksia ei laskettu. Lopulta työt sisältävä kokonaiskustannus jää huomattavan edulliseksi verrattuna koneistamalla valmistettuun muottiin, joka oli valitussa toteutusvaihtoehdossa valmistusmenetelmänä. Koneistamalla valmistetun muotin hinta-arvio oli materiaaleineen 6 000 - 7 000 euroa.

TAULUKKO 4. Muotin materiaalikustannukset

Materiaali		Hinta	€
Foam		25	
Muottipasta		100	
Pintakäsittely		50	
Kohdistusputki		30	
OSB-levy		130	
	yht.	335	

5 TUOTEKEHITYKSEN TULOKSET

Opinnäytetyön lopputulos oli konseptisuunnitelma penkin valmistamiseksi sisältäen tarvittavat dokumentit. Valitussa toteutusvaihtoehdossa muotti oli tarkoitus valmistaa koneistamalla. Kun muotin yksityiskohtaisempi suunnittelu aloitettiin ja suunnitelman pohjalta tehtiin tarjouspyyntöjä, todettiin yhdessä toimeksiantajan kanssa muotin koneistuksen tulevan liian kalliiksi.

Valmistusmenetelmien kartoitusvaiheessa, jossa tehtiin kustannusarvio toteutusvaihtoehdoista, ei tarkkaa 3D-mallia ja speksejä muotista ollut vielä olemassa. Tämän takia yrityksistä saatiin hinta-arviot, jotka osittain olivat pienempiä mitä todelliset kustannukset. Kun 3D-malli valmistui, selkeni muotINVALMISTUKSEN haastavuus ja sen myötä muotin koneistuksen hinta nousi liian isoksi. Johtopäätöksenä tästä, penkin 3D-malli olisi kannattanut tehdä työn alkuvaiheessa, jotta hinta-arvio valmistuskustannuksista olisi pystytty antamaan tarkemmin. Koneistusta varten tehty muotin suunnittelutyö ei kuitenkaan ollut turhaa.

Tehtiin johtopäätös, että kehitetään muotin valmistamiseksi menetelmä, jossa muottia ei tarvitse koneistaa. Tässä tapahtui käännekohta koko työn osalta, jossa yksityiskohtainen suunnittelutyö muotin koneistamista varten muuttui enemmän konseptisuunnitelman luontiin, jonka tarkoituksena oli mahdollistaa kustannustehokkaan muotin valmistaminen. Muotin valmistusmenetelmän vaihtaminen koneistuksesta OSB-levyjen vesisuihkuleikkaamiseen laski kustannuksia moninkertaisesti pienemmiksi.

Yksilöllisen penkin valmistamisen mahdollistavuus onnistuttiin toteuttamaan tässä työssä. Yksilöllisen penkin valmistaminen eri kuljettajille käyttäen aina samaa naarasmuottia ja valmistamalla urosmuotti 3D-skannauksesta saadun datan perusteella, tuo tähän työhön selkeän uutuusarvon ja kustannustehokkuuden verrattuna muihin tässä työssä tutkittuihin valmistusmenetelmiin. Päätelmänä on, että penkki kannattaa valmistaa tällä konseptilla, mikäli halutaan valmistaa kustannustehokkaasti yksilöllisiä penkkejä piensarjoina niin kuin oli vaatimuksena.

Vaatimuksena oli, että penkin pintaa täytyy kiinnittää palonkestävä kangas. Tässä konseptissa ennen muotin kasaamista on mahdollista kiinnittää palonkestävä kangas muottipintoihin. Täytyessään polyuretaanilla kangas tarttuu penkin pintaan. Jos tämä tapa ei onnistu on mahdollista kiinnittää palonkestävä kangas penkin pintaan muotista irrotuksen jälkeen.

Materiaaliksi valittiin joustava polyuretaanivaaho. Materiaaleja tutkimalla tultiin siihen lopputulokseen, että joustava polyuretaanivaaho kestää käytössä paremmin kuin kova polyuretaanivaaho, josta penkki perinteisesti on tehty. Ongelmana oli ollut materiaalin halkeaminen käytössä. Materiaalivalinta onnistui koska pystyttiin lisäämään penkin mekaanista kestävyyttä. Penkin kestävyyttä käytössä ei simuloitu eikä tehty tarkempia laskelmia.

Penkille asetettu painovaatimus toi suuria haasteita materiaalin valinnalle koska mahdollisia materiaalivaihtoehtoja oli sen takia vähän. Penkin painoksi tuli konseptimallissa laskennallisesti 3,6 kg. Tähän ei ole laskettu pintakangasta eli todellinen paino on noin 200 g maksimipainoa korkeampi. Mahdollisessa jatkokehitysvaiheessa optimoidaan materiaalin ominaisuudet ja tehdään tarkemmat laskelmat penkin kestävyuden ja painon optimoimiseksi. Valittu materiaali on pehmeämpi kuin perinteisesti valmistetussa penkissä. Selkeästi pehmeämmän materiaalin soveltuvuutta F3-auton istuimeksi ei pystytty tässä työssä todistamaan.

Penkin ulkonäköä pystyttiin selkeästi parantamaan verrattuna alkuperäispenkkiin. Toimeksiantajalle on tästä hyötyä, mikäli konseptia käytetään joskus kaupallisiin tarkoituksiin.

Penkin irrotuksen onnistuminen muotista jää arvailujen varaan mutta irrotusvaihe on pyritty huomioimaan mahdollisimman hyvin muotin suunnittelussa. Jos penkki ei irtoa muotista, on mahdollista lisätä muottiblokkien määrää, jolloin irrotuksen onnistuminen on varmempaa. Jatkokehityskohteena on muotin valmistamisen kehittäminen erityisesti muotin pintaan tulevan porrastuksen osalta.

Penkistä tehtiin onnistunut 3D-malli käyttäen hyödyksi takaisinmallinnusprosessia. Penkki onnistuttiin 3D-skannaamaan ja siitä saatiin jatkokäsittelykelpoinen pistepilvimalli. Työssä löydettiin toimiva menetelmä, jolla skannausdataa voidaan

muokata ja muuntaa se 3D-malliksi. Tästä työvaiheesta on tuloksena onnistunut pistepilvimallin jalostaminen 3D-malliksi, jossa ei tarvita haastavaksi ja aikaa vieväksi todettua pintamallinnusmenetelmää. Haasteellisuus todettiin johtuvan penkin monimuotoisuudesta. Jatkokehitystyö voisi olla kuljettajan kehon muodon kopiointi muulla tavalla kuin olemassa olevasta penkistä.

Valmistusmenetelmän kartoitus tehtiin suoraviivaisesti tutkimalla paljon erilaisia vaihtoehtoja ja pisteyttämällä ne. Valmistusmenetelmän valintaa varten tehtiin taulukko, jossa eri vaihtoehtoja vertailtiin, jotta valinta pystyttiin tekemään objektiivisesti. Todettiin, että optimaalisimman valmistusmenetelmän selvittäminen etukäteen on vaikeaa ennen kuin penkki on valmistettu kaikilla menetelmillä. Systemaattisella valmistusmenetelmien kartoituksella päästiin toimivaan lopputulokseen, joten valmistustekniikoiden vertailu valintataulukon avulla todettiin onnistuneeksi.

Työn tilaaja sai hyvin pitkälle konkretisoidun konseptisuunnitelman, jossa kustannustehokkaalla muotilla voidaan valmistaa monimuotoisia tuotteita, jossa hyödynnetään joustavan materiaalin hyötyjä muottisuunnittelussa. Ihmisen muodon kopiointi 3D-skannaamalla penkistä mahdollistaa yksilöllisen tuotteen valmistuksen erilaisiin tuotteisiin. Tämän työn tulokset antavat hyvät lähtökohdat yksilöllisen penkin jatkokehitykseen.

Lopputuloksena saatiin pitkälle viety konseptisuunnitelma sisältäen 3D-mallit penkistä ja muotista, käyttöohjeen muotin kasaamiseen sekä DFX-tiedostot vesisuihkuleikkausta varten. Työn tulosten perusteella konseptia voidaan testata, jonka jälkeen voidaan tehdä tarkempi suunnitelma muotista. Sen jälkeen voidaan siirtyä tarkempaan tuotesuunnitteluun ja parantaa yksityiskohtia.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä tehtiin konseptisuunnitelma systemaattisia tuotekehitysmenetelmiä käyttäen. Konseptisuunnitelman luonti sisälsi esisuunnitteluvaiheen ja muotin yksityiskohtaisen suunnittelun. Esisuunnitteluvaihe sisälsi valmistustekniikoiden ja materiaalien tutkimista ja arviointia. Työn alussa perehdyttiin perinteiseen F3-auton penkin materiaaliin ja valmistuksen teoriaan, jotta saatiin vertailukohta valinnoille. Esisuunnitteluvaiheen lopuksi tehtiin lopullisen toteutusvaihtoehdon valinta viidestä vaihtoehdosta.

Kokonaan uudenlaisen konseptin luonnissa ei ollut etukäteen olemassa valmiita ratkaisuja, mikä teki tästä työstä kiinnostavan ja haasteellisen. Työssä päästiin tutustumaan valmistustekniikoihin, materiaaleihin sekä takaisinmallinnusprosessiin ja konseptisuunnittelun teoriaan. Takaisinmallinnusprosessi oli opettavainen kokemus ja toimivan 3D-mallin luonti oli ison työn takana.

Penkistä tehtiin 3D-malli käyttäen hyödyksi 3D-skannausta, pistepilven muokkaamista ja pistepilven muuntamista 3D-malliksi. Ensin yritettiin pintamallinnusta pistepilven päälle mutta todettiin sen olevan väärä tapa lähestyä tätä haastetta. Sen sijaan pyrittiin löytämään keino, jolla skannausdataa voidaan muokata ja muuntaa 3D-malliksi ja tässä onnistuttiin.

Valmistusmenetelmiä ja materiaaleja tutkittiin ja pyrittiin löytämään optimaalisin tähän tuotteeseen. Yhdessä toimeksiantajan kanssa päädyttiin menetelmään, jossa paisutetaan uretaania muottiin. Tämä menetelmä on muottiteknisesti haastava, koska penkki on niin monimuotoinen.

Työssä toteutui yksilöllisen penkin valmistamisen mahdollistavuus. Tässä konseptissa on selvää uutuusarvoa. Materiaalivalinta onnistui ja pystyttiin lisäämään penkin mekaanista kestävyyttä. Painovaatimuksessa ei aivan pysytty mutta materiaaleja tarkemmin tutkimalla todennäköisesti löydettäisiin ominaispainoltaan hieman kevyempää uretaanivaahtoa.

Lopputuloksena onnistuttiin luomaan tavoiteltu konseptisuunnitelma yksilöllisen F3-auton penkin valmistamiseen. Työhön liittyvä jatkokehitystyö voisi olla kuljettajan kehonmuodon kopiointimenetelmän kehittäminen.

LÄHTEET

1. Masefield, Fraser. 2020. Are you sitting comfortably? The science of F1 seat fitting. Motorsport Technology. Saatavissa: <https://motorsport.tech/formula-1/f1-seat-fitting>. Hakupäivä 5.2.2020.
2. Specifications for extractable seats in open cockpit cars. 2015. Federation internationale de l'automobile. Saatavissa: https://www.fia.com/sites/default/files/extractable_seat_spec_v2-02.12.15.pdf. Hakupäivä 5.2.2020.
3. 2019 FIA Formula 3 World Cup Technical Regulations. 2019. 66th Macau GP. FIA. Saatavissa: https://www.fia.com/sites/default/files/2019_fia_f3_world_cup_technical_regulations_v1.0_1.pdf. Hakupäivä 6.5.2020.
4. Jokinen, Tapani 1987. Tuotekehitys. Helsinki: Otatieto.
5. Kokkonen, Ville – Kuuva, Markku – Leppimäki, Sami – Lähteinen, Ville – Meristö, Tarja – Piira, Sami – Sääskilahti, Mikko 2005. Visioiva tuotekonseptointi. Työkalu tutkimus- ja kehitystoiminnan ohjaamiseen. Teknologiateollisuus. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy. Saatavissa: <https://docplayer.fi/4508940-Visioiva-tuotekonseptointi.html>. Hakupäivä 7.2.2020.
6. Orkas, Juhani. 2007. Valmistusmenetelmänvalinta. Teknillinen korkeakoulu. Saatavissa: <https://docplayer.fi/23860040-Valmistusmenetelman-valinta.html>. Hakupäivä 1.4.2020.
7. Vaahtomuoviopas. Muoviteollisuus ry. Saatavissa: https://www.plastics.fi/document.php/1/124/vaahtomuoviopas/1d69966a67e954dbdfad9637c05601c9_ Hakupäivä 11.4.2020.
8. Mitä polyuretaani on? PU eristeet. Saatavissa: <http://www.pueristeet.fi/pueristeet/mita-polyuretaani-on/>. Hakupäivä 11.4.2020.

9. FlexFoam-iT!TM Series. Smooth-on, Inc. Saatavissa: https://www.smooth-on.com/tb/files/FLEXFOAM-IT_SERIES.pdf. Hakupäivä 13.4.2020.
10. Lucy. 2019. What is the reverse engineering? Physical Digital. Saatavissa: <https://physicaldigital.com/what-is-reverse-engineering/>. Hakupäivä 5.2.2020.
11. What is 3D scanning? 2020. OR3D. Saatavissa: <https://www.or3d.co.uk/knowledge-base/what-is-3d-scanning/>. Hakupäivä 4.4.2020.
12. STL-formaatti. 2019. AIPworks. Saatavissa: <https://aipworks.fi/3d-tulostus/tieto/stl-formaatti/>. Hakupäivä 24.2.2020.

Valmistusmenetelmän valinta																	
Jatkoon	Vaatii muotin	Soveltuvat materiaalit	Paino	Painotettu arvosana	Valmistusaika	Painotettu arvosana	Geometrian mahdollistavuus	Painotettu arvosana	Sarjatuotettavuus	Painotettu arvosana	Jälkikäsittelyn tarve	Painotettu arvosana	Kopiointimenetelmä	Valmistuskustannukset 1-5kpl	Hinta arvosana	Painotettu arvosana	ARVIOINTI
			0,2		0,1		0,1		0,2		0,05				0,35		1
3D-tulostus	Ei	Muovit	1	0,2	3	0,3	3	0,3	2	0,4	3	0,15	3D-scan	3000-4000	7	2,45	3,8
Koneistus	Ei	Muovi, Foam	3	0,6	3	0,3	3	0,3	2	0,4	3	0,15	3D-scan	1700	8	2,8	4,55
Puhallusmuovaus	KYLLÄ	Muovit	1	0,2	1	0,1	1	0,1	3	0,6	3	0,15	3D-scan		4	1,4	2,55
Muottiin paisutus	Ei	PUR foam	3	0,6	3	0,3	3	0,3	1	0,2	3	0,15	X		7	2,45	4
Lämpömuovaus	KYLLÄ	Muovi	1	0,2	1	0,1	1	0,1	3	0,6	3	0,15	3D-scan	10 000	4	1,4	2,55
Ruiskuvälu	KYLLÄ	Muovi	1	0,2	1	0,1	1	0,1	3	0,6	3	0,15	3D-scan	100 000	1	0,35	1,5
RIM	KYLLÄ	PUR foam	3	0,6	2	0,2	2	0,2	3	0,6	2	0,1	3D-scan	2000	8	2,8	4,5
Alipaineinjektio	KYLLÄ	Muovikompos	3	0,6	2	0,2	2	0,2	2	0,4	2	0,1	3D-scan/ muottiteknikka		7	2,45	3,95
Käsinlaminointi	Ei	Muovikompos	3	0,6	2	0,2	3	0,3	2	0,4	2	0,1	3D-scan/ muottiteknikka	250	10	3,5	5,1
Prepreg	KYLLÄ	Muovikompos	3	0,6	2	0,2	2	0,2	2	0,4	2	0,1	3D-scan/ muottiteknikka	450	9	3,15	4,65
Ei jatkoon	Pisteytys 3= edullisin, parhain, laajin..... 1=kallein, huonoin, suppein X=riittävä																
Valaminen																	
Puristusmenetelmät (Ahto, siirto, taso,																	
Rotaatiovälu																	
Paineinjektio (RTM)																	
SRIM																	

Projekti: F3Seat (PROTOTYYPPI)**F3Seat vaatimuslista**

Versio 0.1

KV, VV, T	Vaatusimus	Pvm.	Huom.
	1. Geometria		
KV	Istuinosan täytyy olla kuskin muotojen mukainen, ajohaalarit päällä	18.11	
KV	Istuimen täytyy sopia ja olla tukevasti ohjaamossa	18.11	
KV	Läpiviennit vöille (Ok, leikata jälkeinpäin)	18.11	
VV	Penkin paksuus maksimissaan olemassa olevan istuimen paksuus (Ei minimipaksuutta)	18.11	
VV	Paino ei saa olla yli 20% enemmän kuin nykyinen	18.11	
T	Pienentää original istuimen ulkomittoja	18.11	
T	Pienentää kuljettajalle tulevaa lämpöä eristyksellä	18.11	
	2. Voimat		
KV	Täytyy kestää hajoamatta normaalia käyttöä (4kpl/kausi)	18.11	
KV	Tarpeeksi jäykkä rakenne	18.11	
	4. Materiaalit		
VV	Istuin materiaali joka kestää vaadittavia voimia (ajonaikaisia iskuvoimia) ja lämpötilaa	18.11	
KV	Liukumaton pintamateriaali	18.11	
T	Musta oletusväri, täytyy olla myös maalattavissa		
	5. Turvallisuus		
KV	Materiaalin tulisi olla paloturvallisuudeltaan väh. sama kuin nykyinen PS (Polystyreeni)	18.11	
	6. Ergonomia		
KV	Pintamateriaalin kovuudella/pehmeydellä ei väliä	18.11	
	7. Valmistus		
T	Riittävän nopea valmistusprosessi, tilauksesta 14vrk	18.11	
	9. Käyttö		
KV	Pitää olla helposti asennettavissa ohjaamoon, Penkki otetaan pois kisojen, harjoitusten jälkeen	18.11	
	11. Kustannukset		

KV = Kiinteä vaatimus (Eivät muutu. Kiinteät vaatimukset on toteutettava.)

VV = Vähimmäisvaatimus Vähimmäisvaatimus. (Vähimmäisvaatimukset toteutetaan, mutta voivat olla parempia.)