



Mikko Saarela

Takaspoilerin suunnittelu ja valmistus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

11.5.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Mikko Saarela
Otsikko:	Takaspoilerin suunnittelu ja valmistus
Sivumäärä:	23 sivua
Aika:	11.5.2023
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Ajoneuvotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine:	Ajoneuvosuunnittelu
Ohjaaja:	Projekti-insinööri Aapo Tapaninen, Metropolia AMK

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella ja valmistaa Toyota henkilöauton tavaratilan kannen päälle asennettava spoileri. Vastaavanlaisten osien saatavuus kyseiseen ajoneuvoon on vähäinen. Työn tarkoitus on myös toimia ohjeena muotin valmistukseen hyödyntäen 3D-skannausta, CAD-mallinnusta sekä 3D-tulostusta.

Työ toteutettiin 3D-skannaamalla henkilöauton tavaratilan kansi, jolloin spoileri voitiin suunnitella suunnitteluohjelmalla. Osan valmistukseen käytettiin 3D-tulostinta ja tulosteesta valmistettiin lasikuitumuotti. Muotista valmistettiin valmis lasikuituinen spoileri. Opinnäytetyössä kuvataan projektin valmistusteknisiä prosesseja sekä siitä aiheutuneita kustannuksia. Työstä on rajattu pois valmiin spoilerin viimeistely, lopullinen asennus sekä virtausdynaamisten ominaisuuksien tutkiminen.

Opinnäytetyön lopputuloksena syntyi takaspoileri sekä muotti, josta on mahdollista valmistaa useampia spoilereita. Työssä kuvattuja menetelmiä hyödyntäen voidaan valmistaa myös monenlaisia muita komposiittiosia käytettäväksi muun muassa ajoneuvoissa.

Avainsanat: Takaspoileri, 3D-skannaus, 3D-suunnittelu, 3D-tulostus

Abstract

Author: Mikko Saarela
Title: Designing and Manufacturing a Rear Spoiler
Number of Pages: 23 pages
Date: 11 May 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Automotive Engineering
Professional Major: Automotive Design Engineering
Supervisors: Aapo Tapaninen, Project Engineer, Metropolia University of Applied Sciences

The objective of this Bachelor's thesis was to design and manufacture a rear spoiler to be mounted on the trunk lid of a Toyota passenger vehicle. The availability of similar parts for this vehicle is limited. The aim was to 3D-print a spoiler, from which a fiber glass mold could be manufactured. The purpose of this was to find out if 3D-printing could be used instead of CNC-machining a mold out of polyurethane. This thesis will also serve as a guide to making a mold utilizing 3D-scanning, CAD-modelling, and 3D-printing.

The work was carried out by 3D-scanning the trunk lid, after which the spoiler was designed using CAD software. The part was manufactured using 3D-printing. A fiber glass mold was made from the printed part. The mold was then used to make a fiber glass spoiler. This thesis describes the manufacturing process and the costs that went into it. This thesis does not describe the finishing or the mounting of the spoiler. Furthermore, the thesis does not include the analysis of the fluid dynamics of the spoiler.

The result of this thesis is a rear spoiler and a mold from which new spoilers can be manufactured. It was found out that this manufacturing process was accurate enough to produce a spoiler which is uniform to the one that was designed with CAD software. During the making of the spoiler, it was also discovered which materials were suitable to be used and which were not in such a process. The thesis shows some of the cons of the manufacturing methods and describes how they could be avoided. The manufacturing process described in this thesis can be utilized in manufacturing many other parts to be used for example in passenger vehicles.

Keywords: Rear spoiler, 3D-scanning, 3D-design, 3D-printing

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Ajoneuvon 3D-skannaus	2
2.1	3D-skannauksen valmistelu	2
2.2	3D-skannaus	2
2.3	3D-skannauksen jälkikäsittely	3
3	Spoilerin 3D-suunnittelu	5
4	3D-tulostus	6
4.1	3D-tulostimet ja materiaalit	6
4.2	3D-tulosteen kokoaminen	7
5	Lasikuitumuotin valmistus	9
5.1	Tulosteen viimeistely muottia varten	9
5.2	Muotin valmistus	10
5.3	Muotin irrotus	13
5.4	Muotin jälkikäsittely	14
6	Spoilerin valmistus	15
6.1	Muotin laminointi	15
6.2	Lasikuituosien irrotus muoteista	17
6.3	Lasikuituosien liimaus	17
7	Spoilerin 3D-skannaus	18
8	Kustannukset	20
9	Yhteenveto	21
	Lähteet	23

Lyhenteet

- ASA: *Acrylonitrile styrene acrylate*. 3D-tulostuksessa käytetty filamenttimateriaali, joka omaa hyvän mekaanisen lujuuden.
- PLA: *Poly-lactic acid*. Polylactidi on filamenttimateriaali, joka on valmistettu uusiutuvista raaka-aineista.
- 12CF: Hiilikuituvahvistettua nylonia oleva filamenttimateriaali.
- STL: Tiedostomuoto, joka kuvaa 3D-mallin pintageometriaa.
- STP: STEP-tiedosto, jota useat CAD-järjestelmät voivat tulkita.

1 Johdanto

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa takaspoileri korvaamaan Toyota-merkkisen henkilöauton tehtaalla asennettu spoileri. Työssä kuvattuja prosesseja voi hyödyntää myös muissa vastaavanlaisissa projekteissa.

Takaspoileri on yleensä ajoneuvon tavaratilan kanteen asennettu varuste, joka muuttaa ilman virtausta ajoneuvon ylitse. Tarkoituksena on vähentää ajoneuvon kohdistuvaa nostetta ja ilmanvastusta. Toimiva takaspoileri tekee autosta vakaamman ajettavan suurilla nopeuksilla. (Sunanda & Nayak 2013.)

Työssä henkilöauton tavaratilan kansi 3D-skannattiin ja sen päälle tuleva spoileri suunniteltiin CAD-ohjelmalla. Spoileri suunniteltiin kiinnitettäväksi koko pituudeltaan tavaratilan kantta vasten. Kappale suunniteltiin myös siten, että se peittää alkuperäisen takaspoilerin kiinnitysreiät.

Suunnittelun jälkeen valittiin kustannustehokas valmistustapa muotille ja lopulliselle tuotteelle. Työssä haluttiin kokeilla 3D-tulostuksen hyödyntämistä lasikuitumuotin valmistuksessa.

Työssä ei huomioida takaspoilerin virtausdynamiikkaa eikä kuvata takaspoilerin viimeistelyä eikä lopullista asennusta.

Työssä käytetyt 3D-skannaus- sekä 3D-tulostuslaitteet saatiin käyttöön AIPWorksilta.

2 Ajoneuvon 3D-skannaus

Työn kohteena oleva ajoneuvo on vuoden 2004 Toyota Mark2 (kuva 1).



Kuva 1. Toyota Mark2 -henkilöauto.

2.1 3D-skannauksen valmistelu

Ajoneuvo valmistettiin skannausta varten poistamalla alkuperäinen takaspoileri tavaratilan kannen päältä sekä pesemällä kannen pinta huolellisesti. Auto ajettiin tilaan, jossa sen ympärillä voitiin työskennellä esteettömästi. Tavaratilan kannen pintaan asetettiin teipinpalasia merkeiksi, jotka helpottavat skannatun tiedoston jälkikäsittelyä.

2.2 3D-skannaus

3D-skannauksella tarkoitetaan prosessia, jolla kerätään mittadataa reaali maailman kohteista. Kerätyistä datasta luodaan digitaalinen 3D-malli. (Pellinen 2021.)

3D-skannaus toteutettiin käyttämällä Artec Eva -skanneria (kuva 2). Skanneri on kevyt, pienikokoinen sekä helppokäyttöinen. Apuna käytettiin kannettavaa tietokonetta, johon oli asennettu Artec Studio 15 -ohjelmisto. Skanneri kytkettiin

tietokoneeseen, jolloin voitiin seurata skannerin näkymää tietokoneen näytöltä.
(Artec Eva 3D-skanneri 2023: 1.)



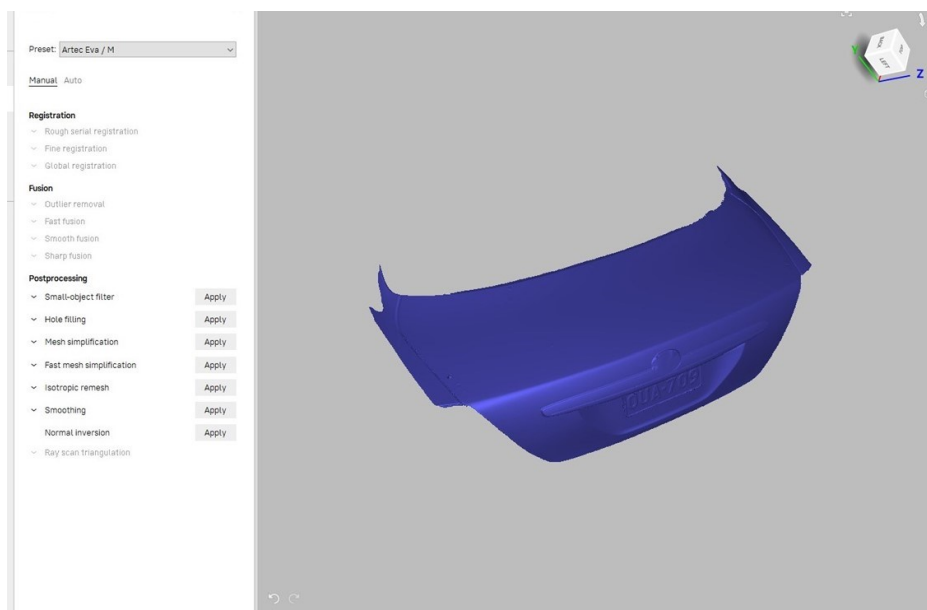
Kuva 2. Skannaus Artec Evalla.

Skannauksia otettiin noin kymmenen, joista osa oli pienempiä alueita ja osa käsitti koko auton perän. Näin voitiin varmistua, että pinnasta saadaan tarpeeksi tarkka ja virheetön malli.

2.3 3D-skannauksen jälkikäsittely

Skannauksen jälkeen dataa käsiteltiin Artec Studio 15 -ohjelmalla (kuva 3). Ohjelmalla voidaan yhdistellä skannauksia, joka helpottaa hyvän 3D-mallin muodostamista, jossa ei ole 3D-suunnitteluun vaikuttavia puutteita. Skannauksien yhdistelyä helpottivat tavaratilan kannen pintaan asetetut teipit. Malli siistittiin yhdistämisen jälkeen kaikesta ylimääräisestä datasta. Lopulliseen malliin haluttiin vain ainoastaan tavaratilan kansi, joten kaikki muu data poistettiin ohjelman

eraser-toiminnolla. Malliin jääneitä pieniä virheitä karsittiin ohjelman hole filling -toiminnolla.

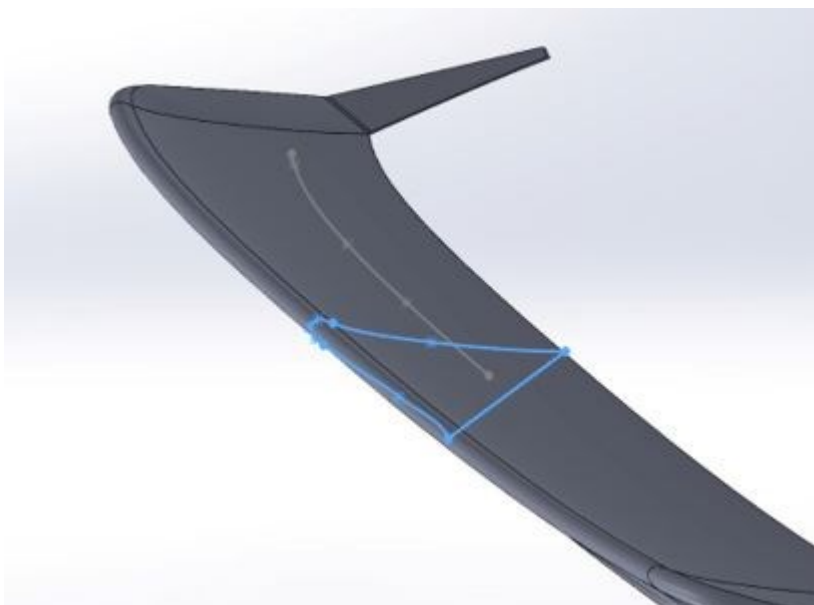


Kuva 3. Skannattu malli yhdisteltynä ja siistittynä Artec Studio 15 -ohjelmassa.

Valmis ja siistitty malli tallennettiin Stl-muodossa, joka kuvaa 3D-mallin pinta-geometriaa sarjalla linkitettyjä kolmioita. Stl-tiedoston kuvaamalla pintageometrialla luotiin 3D-suunnittelussa tarvittavat pinnat Geomagic Design X -ohjelmassa. Pintojen luonti tehtiin Auto surface-toiminnolla, joka luo pinnat automaattisesti stl-tiedoston perusteella. Tämän jälkeen malli tallennettiin stp-tiedostona, joka on yleisesti käytetty tiedostomuoto CAD-suunnittelussa. Stp-tiedostot ovat ISO-standardin mukaisia. Tämä tarkoittaa, että stp-tiedostot tallentavat koko 3D-mallin rungon, mikä on tärkeää korkean tarkkuuden kannalta. (STEP-tiedostot 2023.)

3 Spoilerin 3D-suunnittelu

Osa tuotiin stp-tiedostona SolidWorks-suunnitteluohjelmaan. Ensimmäinen vaihe oli mallin jakaminen keskeltä kahtia ja laittamalla toinen puoli näkymättömäksi. Kappale haluttiin mallintaa ensin puolikkaaseen tavaratilan kanteen, minkä jälkeen kappale peilattaisiin kokonaiseksi kappaleeksi. Tällä tavalla kappaleesta saataisiin varmasti symmetrinen. Kappaleen haluttiin kiinnittyvän kantta vasten koko matkaltaan sekä peittävän alkuperäisen takaspoilerin kiinnitysreiät. Spoilerista tehtiin "rautalankamalli", joka määrittää kappaleen profiilin sekä sijainnin kontin päällä. Rautalankamallin suunnittelun jälkeen kappaleelle määritettiin pinta surface-työkaluilla (kuva 4). Pintojen määrittämisen jälkeen kappale peilattiin mirror-toiminnolla. Spoileri siis suunniteltiin tavaratilan kannen puolikkaaseen, jonka jälkeen se peilattiin kokonaiseksi osaksi.



Kuva 4. Spoilerin piirretty profiili sekä määritetty pinta.

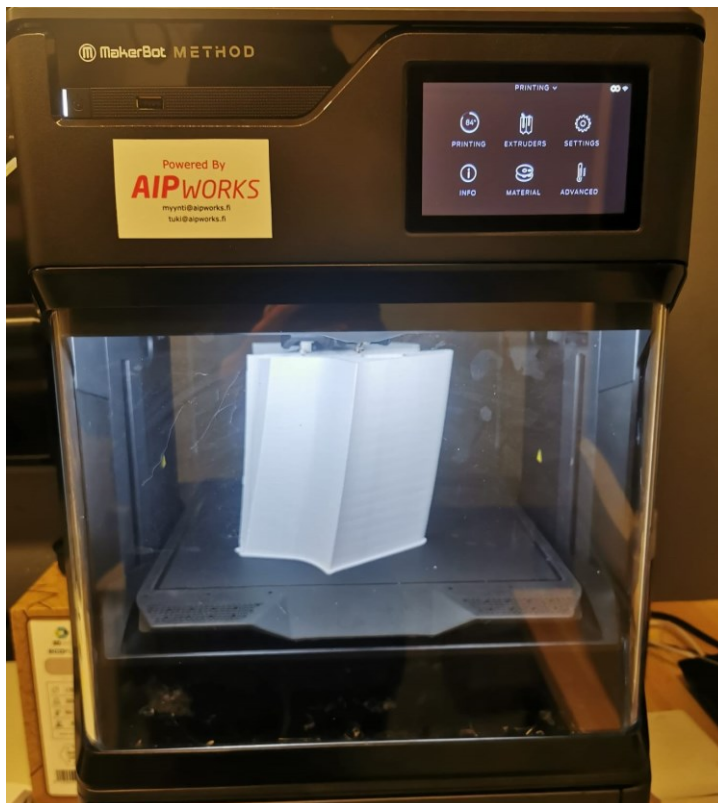
Pintamalli määritettiin "vesitiiviiksi" solidbody-malliksi. Tämän jälkeen suunniteltu osa leikattiin skannatusta tavaratilan kannen mallista, jolloin saatiin täydellinen vastaavuus spoilerin kiinnityspuolelle sekä kannelle.

4 3D-tulostus

3D-tulostuksella saadaan tehtyä 3D-mallista fyysinen kappale. 3D-tulostin muodostaa kappaleen tulostamalla materiaalia kerroksittain. Tulostus alkaa alimmasta kerroksesta ja seuraava kerros tulee aina edellisen päälle. Tulostus jatkuu, kunnes kaikki kerrokset on tulostettu, jolloin tuloste on valmis. (3D-tulostuksen toimintaperiaate 2023.)

4.1 3D-tulostimet ja materiaalit

Spoileri tulostettiin Ultimaker Method- sekä Method X -3D-tulostimilla. Molemmissa 3D-tulostimissa on 190 x 190 x 196 mm:n tulostuskammio, joten kokonsa vuoksi spoileri tulostettiin kymmenessä osassa (kuva 5). Molemmissa tulostimissa on myös lämmitetty tulostuskammio, joka parantaa tulostuslaatua sekä mittatarkkuutta. (Ultimaker Method 3D-tulostin 2023)

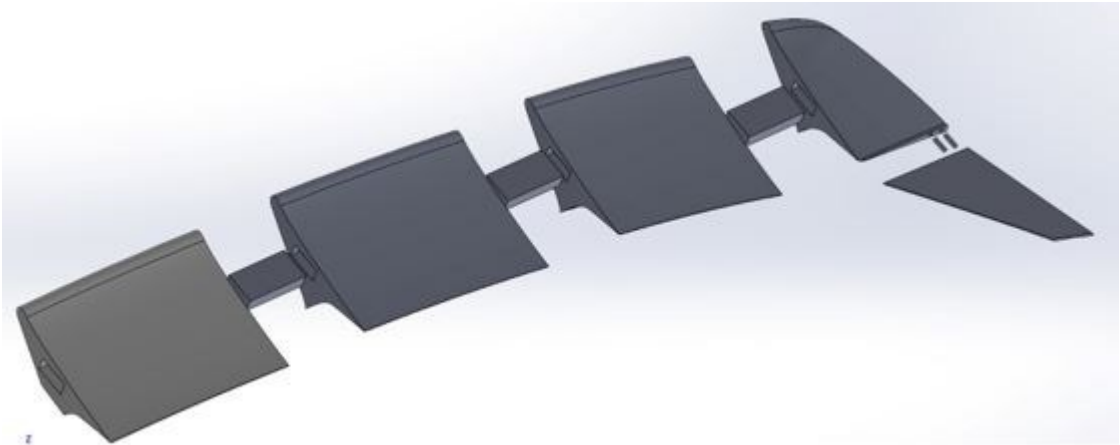


Kuva 5. MakerBot Method -3D-tulostin.

Tulosteissa käytettiin kolmea eri materiaalia: Methodilla tulostettiin PLA-materiaalia sekä Method X:lla ASA- ja 12CF-materiaalia. ASA:n ja PLA:n käyttö johtuu siitä, että kumpaankin tulostimeen oli jo valmiiksi ladattu kyseiset materiaalit. Eri materiaalit voidaan yhdistää toisiinsa liimaamalla, joten tulostimien materiaaleja ei alettu vaihtamaan. 12CF-materiaalia käytettiin spoilerin päätyosuuksiin, koska ne oli suunniteltu todella ohuiksi. 12CF eli hiilikuituvahvistettu nylon on erittäin vahva ja vääntöjäykkä materiaali. Spoilerin päätyosien kanssa haluttiin olla tarkkoja, etteivät ne pääse vääntymään työn missään vaiheessa.

4.2 3D-tulosteen kokoaminen

Tulosteen kokoamisen helpottamiseksi osiin piirrettiin ennen tulostusta onkalot (kuva 6). Osien tulostuksen yhteydessä tulostettiin myös onkaloihin sopivat nelikulmaiset tapit. Spoilerin päätyihin suunniteltiin pienemmät sylinterinmuotoiset tapit. Näin tulostetta kootessa osat kohdistuvat toisiinsa huomattavasti helpommin, eivätkä osat irtoa toisistaan niin helposti työn seuraavissa vaiheissa.



Kuva 6. Spoileri leikattuna sekä kohdistustapit.

Kokoaminen suoritettiin ajoneuvon tavaratilan kantta vasten, jotta muoto saataisiin täsmälleen oikeaksi (kuva 7).



Kuva 7. Tulosteen kokoaminen tavaratilan kantta vasten.

Kappaleet liimattiin toisiinsa Loctiten Power Epoxy -liimalla, joka soveltuu useimmille muoveille. Tulostetta kootessa muutamaan kappaleiden väliseen liitoskohdan ulkoreunaan jäi noin millimetrin kokoinen rako. Tämä voi johtua kappaleiden vääntymisestä 3D-tulostettaessa. Tulosteen vääntyminen voi aiheutua siitä, että tulostettu materiaali jäähtyy liian nopeasti ja alkaa kutistua. Vääntymistä voidaan estää riittävällä kiinnitysaineen käytöllä. Kiinnitysaine pitää tulostettavan kappaleen kiinni 3D-tulostimen alustassa, jolloin se ei irtoa kutistumisen vaikutuksesta ja lähde vääntymään. (What causes 3D print warping and how to prevent it 2022.) Tässä tapauksessa raoilla ei kuitenkaan ole suurta merkitystä, koska osia painettiin tavaratilan kantta vasten niitä liimattaessa eikä kantta vasten olevissa liitoskohtien osissa ollut rakoja. Ulkoreunojen raot peitettiin seuraavassa työvaiheessa.

5 Lasikuitumuotin valmistus

5.1 Tulosteen viimeistely muottia varten

3D-tulostetun spoilerin kokoamisen jälkeen se tuli valmistella muotin valmistusta varten. Tulosteesta haluttiin poistaa sen karheus, sekä palojen liitoskohdat tuli saada häivytettyä mahdollisimman hyvin. Syy näille toimenpiteille on se, että kaikki virheet, joita kappaleessa on, siirtyvät myös siitä valmistettavaan muottiin. Isoimpia rakoja täytettiin tulosteen kokoamisessa käytetyllä Power Epoxylla.

Muuhun viimeistelyyn käytettiin komposiittiosien viimeistelyyn tarkoitettua kappaleen pintaan siveltimellä levitettävää PCP-polyesterimaalia. Aineella on helppo saada aikaan tasaisesti peittäviä kerroksia kappaleen pinnalle. Yhden kerroksen jälkeen spoileri hiottiin hiomapaperilla, joka oli karkeudeltaan 120 (kuva 8).



Kuva 8. 3D-tuloste hiottuna yhden polyesterimaalikerroksen jälkeen.

Hionnan jälkeen kappaleen päälle levitettiin siveltimellä uusi kerros polyesterimaalia ja taas hiottiin. Kerroksia laitettiin yhteensä kolme ja viimeinen kerros hiottiin vesihionnalla. Vesihionnalla tarkoitetaan hiontaa, jonka aikana hiomapaperi ja kappaleen pinta pidetään märkänä vedellä. Vesi pitää kappaleen pinnan

puhtaana hionnan aikana irtoavista partikkeleista, jotka voisivat muutoin aiheuttaa naarmuja kappaleeseen. Vesihionta aloitettiin karkeuden 400 vesihiomapaperilla ja päätettiin karkeuden 2000 vesihiomapaperiin. Vesihionnan jälkeen pinta kiillotettiin kiillotuskoneella.

5.2 Muotin valmistus

Kappaleesta tehtiin lasikuituinen avomuotti, josta voidaan valmistaa useampia spoilereita. Spoilerin muodon vuoksi muotti jaettiin kahteen osaan, joista toinen on spoilerin yläpuolesta ja toinen alapuolesta. Jako tulee tehdä tavalla, joka mahdollistaa muotin ja tulosteen helpon irtoamisen toisistaan muotin valmistuttua. Tulosteen pintaa suojattiin teipillä, minkä jälkeen siihen liimattiin polypropeenikennolevyjä. Levyt mahdollistavat gelcoatin sekä lasikuidun levittämisen niiden päälle, jolloin muotteihin saadaan jäykkyyttä. Kennolevyjen sekä tulosteen rajaan levitettiin vahaa, joka estää muun muassa gelcoatin pääsyn kennolevyjen ohitse tulosteen toiselle sivulle. Loput raot levyjen välissä suljettiin flash-teipillä, joka kestää irrotusaineita sekä hartsia. (Kuva 9.)



Kuva 9. Polypropeenikennolevyt liimattuna sekä vaha levitettynä.

Seuraavana kappaleen pinta puhdistettiin MC1 Mould Cleanerilla, minkä jälkeen pintaan levitettiin pensselillä PVA Release Agent. PVA muodostaa kuivuttuaan sinisen filmin, joka estää gelcoatit tarttumisen kappaleeseen (kuva 10). Kennolevyjen päälle levitettiin vielä Easy Lease -irrotusaine, joka myös estää gelcoatit tarttumisen kennolevyihin.



Kuva 10. PVA-irrotusaine levitettynä spoilerin päälle.

Irrotusaineiden levityksen jälkeen tulosteen ja kennolevyjen pinnalle levitettiin kaksi kerrosta gelcoatia (kuva 11). Gelcoat muodostaa tiiviin pinnan tulosteen ja muotin välille. Gelcoatit tulevat antaa kuivua noin puoli tuntia, minkä jälkeen se on valmis lasikuidun levitykseen.



Kuva 11. Gelcoat-kerros levitettynä.

Kappaleen päälle levitettiin neljä kerrosta 300 g/m^2 :n lasikuitumattoa. Ennen ensimmäistä lasikuitukerrosta kappaleen pintaan levitettiin kerros polyesterihartsia. Tämän jälkeen matto asetettiin pintaan ja sen päälle levitettiin lisää hartsia. Lasikuitumaton tulee olla kokonaan märkä hartsista. Tämä toistettiin, kunnes kappaleen päällä oli neljä kerrosta lasikuitumattoa (kuva 12). Laminoinnin jälkeen kappaleen annettiin kuivua noin vuorokauden verran.



Kuva 12. Spoilerin yläpuoli laminoituna lasikuidulla.

Lasikuidun kuivuttua kappale käännettiin ylösalaisin ja siitä poistettiin kennolevyt sekä ylimääräinen vaha. Vahaa jätettiin vain ohut kerros aivan tulosteen sekä muotin rajapintaan. Ensimmäisen puolen prosessit toistettiin myös toiselle puolelle. Tulosteen pinta siis puhdistettiin ja siihen levitettiin irrotusaineet, minkä jälkeen levitettiin gelcoat ja lopulta lasikuitumattoa hartsin kanssa.

5.3 Muotin irrotus

Muotin valmistuttua ja aineiden kuivuttua alkoi muotin puolikkaiden irrotus toisistaan. Muotin ympäri piirrettiin apuviiva, jota pitkin muotista leikataan ylimääräinen materiaali puoliskojen irrotuksen helpottamiseksi (kuva 13).



Kuva 13. Kappale laminoituna ja leikkausviiva piirrettynä.

Leikkauksen jälkeen kerrosten välissä voitiin nähdä ohut kaistale, jossa muotin puoliskojen materiaalit kohtasivat. Tästä kohdasta aloitettiin muotin halkaisu lyömällä siihen varovasti taltalla. Apuna käytettiin pieniä muovisia kiiloja, joita jätettiin väliin halkaisun edetessä. Muotin puoliskojen irrottua toisistaan irrotettiin vielä tuloste toisesta puoliskosta.

5.4 Muotin jälkikäsittely

Muotin irrotuksen jälkeen puoliskot valmisteltiin jatkoa varten. Muoteista poistettiin PVA-irrotusaine, joka irtosi vedellä ja mikrokuituliinalla pyyhkimällä. PVA:n lisäksi kappaleisiin oli jäänyt tulosteen pinnan viimeistelyssä käytettyä mustaa polyesterihartsia (kuva 14).



Kuva 14. Polyesterimaalia alapuolen muotissa.

Polyesterimaali oli irronnut ASA-materiaalilla 3D-tulostetuista kappaleista. Easy-compositen sivuilla mainitaan, että maali sisältää styreeniä ja se voi aiheuttaa ongelmia ABS-muovien kanssa, jotka sisältävät myös styreeniä. ABS-muovien tapaan myös ASA-muovit sisältävät styreeniä. Tässä tapauksessa reaktio aiheutti vain aineen heikomman tarttumisen kappaleen pintaan. PLA:n kanssa yhteensopivuusongelmia voi ilmetä erittäin ohuissa tulosteissa. Spoilerin PLA:lla tulostetut osat olivat kuitenkin hyvin paksuja, joten hartsin käyttö ei aiheuttanut ongelmia. Hartsijäämät irtosivat muotista varovaisella raaputtamisella. (PCP polyester pattern-coat primer 2023.)

6 Spoilerin valmistus

Spoileri valmistettiin muotista märkälaminointina. Märkälaminointi on valmistusmenetelmä, jossa lujitteet laitetaan muottiin kerroksittain. Lujitteena käytetään tässä työssä lasikuitumattoa. Lujitekerrosten välissä ne kostutetaan hartsilla. Märkälaminoinnin etuna on menetelmän pienet kustannukset isojenkin kappaleiden valmistuksessa. (Mallit ja muotit – Komposiittirakenteet 2019: 5.1.2.) Muotista olisi voinut valmistaa myös hiilikuituisen spoilerin alipainesäkitysmenetelmällä. Spoileri haluttiin kuitenkin tässä tapauksessa valmistaa lasikuidusta, koska se on edullisempi menetelmä eikä spoilerilta vaadittu suurempaa kestävyyttä tai painon säästöä.

6.1 Muotin laminointi

Lopullisen tuotteen valmistusprosessi aloitettiin puhistamalla muotit huolellisesti MC1 Mould Cleanerilla (kuva 15), minkä jälkeen levitettiin kuusi kerrosta Easy Lease -irrotusainetta. Ainetta käytettäessä kerrosten välissä pitää odottaa vähintään 15 minuuttia ja viimeisen kerroksen levityksestä noin tunti, ennen kuin muottia voi käyttää.



Kuva 15. Muotin pinta puhdistettuna.

Irrotusaineen kuivuttua muotteihin levitettiin kerros gelcoatia. Tämä gelcoat-kerros muodostaa valmiin spoilerin pinnan muotista irrotuksen jälkeen. Gelcoatin annettiin kuivua noin 30 minuuttia ennen lasikuidun levittämistä. Lasikuitumattoa levitettiin kolme kerrosta polyesterihartsin kanssa (kuva 16). Laminoinnin jälkeen muottien annettiin kuivua vuorokauden verran.



Kuva 16. Muotti laminoituna lasikuidulla.

6.2 Lasikuituosien irrotus muoteista

Lasikuidun kuivuttua osat irrotettiin muoteista. Irrotuksessa käytettiin samoja muovikiiloja kuin muottien halkaisussa. Muottien ja lasikuituosien raja käytiin varovaisesti läpi kiilojen avulla ja molemmat spoilerin osat saatiin irti muoteista (kuva 17). Osista leikattiin irti suurin osa ylimääräisestä lasikuidusta sekä gelcoatista, jonka jälkeen reunat hiottiin tasaisiksi.



Kuva 17. Spoilerin yläpuoli irrotettuna muotista.

6.3 Lasikuituosien liimaus

Spoilerin ylä- ja alaosa liitettiin toisiinsa komposiittiosille tarkoitetulla kaksikomponenttiliimalla. Liiman annettiin kuivua noin vuorokauden verran, jonka jälkeen osien liitospinta hiottiin tasaiseksi (kuva 18).



Kuva 18. Spoileri liimattuna kokoon ja liitospinnat hiottuna.

7 Spoilerin 3D-skannaus

Lopuksi lasikuituinen spoileri aseteltiin ajoneuvon tavaratilan kannen päälle ja 3D-skannattiin. Skannaukseen käytettiin Artec Leo -skanneria. Laitteessa on näyttö, josta skannausta voi seurata reaaliajassa.

3D-skannatun kuvan päälle asetettiin SolidWorks-ohjelmassa suunniteltu spoileri (kuva 19). Näin voitiin vertailla suunniteltua sekä valmistettua spoileria keskenään. Kuvasta voidaan nähdä, että iso osa valmistetun kappaleen pinnasta on $+2:n -2\text{ mm:n}$ välillä suunniteltuun kappaleeseen verrattuna. Toleranssi on siis tämänkaltaisessa projektissa riittävän tarkka. Suurimmat eroavaisuudet suunnittelun ja valmistetun lipan välillä voivat johtua tulostetun kappaleen vääntymisestä sekä 3D-tulosteeseen tehdyistä pohjatöistä. Tulosteen pintaan siveltyvät polyesterimaalikerrokset antavat pinnalle hieman paksuutta hionnasta huolimatta. Jos kappaleelle olisi määrätty tarkasti mitat, joita se ei saisi ylittää, voisi kappaleen suunnittelussa ottaa huomioon pohjatöiden vaikutuksen kappaleen pintaan. Tämän voisi tehdä esimerkiksi suunnittelemalla kappale hieman

ohuemmaksi, jolloin pinnan valmistelu sekä maalaus tuovat kappaleen paksuuden haluttuihin mittoihin.



Kuva 19. Skannatun ja suunnitellun spoilerin vertailu.

8 Kustannukset

Projektin kustannusarviossa otetaan huomioon työn eri vaiheissa käytetyt materiaalit ja aineet sekä muu tarvittava välineistö (taulukko 1). Hinnat sisältävät arvonlisäveron. Arviossa ei oteta huomioon käytettyjä työtunteja eikä käytettyjen ohjelmistojen tai laitteistojen hankinnasta tai lainauksesta syntyviä kustannuksia.

Taulukko 1. Projektissa käytetyt tarvikkeet hintoineen.

3D-tulostus ja tulosteen viimeistely		
Tuote	Määrä	Hinta
12CF-filamentti	60 g	15,50 €
ASA-filamentti	750 g	103 €
PLA-filamentti	450 g	48 €
Loctite Power Epoxy-liima	28 g	11,90 €
PCP polyesterimaali	1 kg	31,50 €
Lasikuitumuotin sekä lasikuituspoilerin valmistus		
Tuote	Määrä	Hinta
Lasikuitumatto	6m ² (300 g/m ²)	30 €
Polyesteriharts	4,5 kg	60 €
Gelcoat	2 kg	38 €
Kovete hartsiin ja gelcoattiin	120 g	14 €
Vaha	325 g	8,68 €
Flash-teippi	1 rulla	10,16 €
Polypropeeni kennolevyt	1kpl 1000 x 500 mm	22,75 €
PVA irrotusaine	200 ml	5 €
CR1 Easy-Lease irrotusaine	250 ml	13,70 €
MC1 Mould Cleaner	500 ml	12,30 €
Muu välineistö		
Tuote		Hinta
Siveltimet		10 €
Hengityssuojain ja suojakäsineet		100 €
Sekoitusastiat		20 €
Ilmaustela		7 €

Laskettujen materiaalien, aineiden ja tarvikkeiden summaksi tulee 561,49 euroa. Listassa on kuitenkin paljon asioita, joita voidaan käyttää useampaan samankaltaiseen työhön. Esimerkiksi irrotus- ja puhdistusaineita ei työhön paljoa kulu, jolloin näiden aineiden todellinen kustannus tämän työn osalta jää pienemmäksi. Myös esimerkiksi hengityssuojain sekä polypropeenikennolevyt ovat käytettävissä uudestaan.

9 Yhteenveto

Insinööriyössä suunniteltiin ja valmistettiin Toyota-merkkiseen henkilöautoon spoileri, joka korvaa auton tehtaalla asennetun spoilerin. Samalla haluttiin kokeilla 3D-tulostamisen hyödyntämistä tämänkaltaisen osan valmistuksessa. Lopputuloksena syntyvän spoilerin haluttiin vastaavan mahdollisimman tarkasti suunniteltua spoileria.

Työn aikana käytiin läpi monia tuotteen suunnitteluun ja valmistukseen vaadittavia prosesseja. Lopputuloksena saatiin valmistettua kohteena olleen henkilöauton tavaratilan kanteen sopiva spoileri, joka on maalausta vaille valmis kiinnitettäväksi. Spoilerin muoto vastasi hyvin suunniteltua spoileria. Spoilerista on nyt myös olemassa muotti, jonka avulla voidaan valmistaa uusia spoilereita esimerkiksi myyntiin.

Työn aikana opittiin perusteita 3D-skannauksesta sekä 3D-tulostuksesta. 3D-tulostuksen hyödyntäminen onnistui työn kannalta hyvin, ja valmiin kappaleen muoto oli säilynyt suunnitellun kappaleen mukaisena. Tulostuksen hyödyntäminen olisi ollut vielä helpompaa tulostuskammioltaan isommalla 3D-tulostimella. Tällöin tulosteen kokoon liimaaminen olisi ollut helpompaa, kun liimattavia kappaleita olisi ollut vähemmän. Tällöin riski kappaleen muodonmuutoksista olisi pienempi.

Tämänkaltaisen kappaleen valmistuksessa käytetään usein CNC-koneistusta, jolloin tietokoneella ohjatulla koneella voidaan sorvata ja jyrsiä kappale esimerkiksi polyuretaanilevystä. Tästä koneistetusta kappaleesta voidaan tämän

jälkeen valmistaa lasikuitumuotti. 3D-tulostusta hyödyntämällä voidaan säästää kuluissa koneistuksella valmistettavaan kappaleeseen verrattuna. Tulostuksen haitta koneistukseen verrattuna on kuitenkin muottivalmiin kappaleen saavuttamiseksi vaadittavat työvaiheet, kuten tulosteen kokoaminen liimaamalla sekä siihen tehtävät pohjatyöt. Näissä työvaiheissa voi tapahtua muutoksia kappaleen muodoissa suunniteltuun kappaleeseen verrattuna. Suurimmat virheet voivat syntyä liimauksen aikana, jos liimattavat osat eivät olekaan tarkalleen oikeissa kohdissa toisiinsa verrattuna.

Muotin valmistuksessa huomattiin ongelma PCP-polyesterimaalin sekä ASA-materiaalilla tulostettujen kappaleiden kanssa. Polyesterimaali ei ollut tarttunut hyvin ASA-materiaaliin, jolloin se osittain irtosi, kun tulostettua spoileria irrotettiin muotista. Ongelman ratkaisu olisi esimerkiksi tulostaa ASA-materiaalilla tulostetut kappaleet PLA-materiaalilla, jolla tulostettiin spoilerin muut osat päätyjä lukuun ottamatta. ASA-materiaalia käytettäessä tulisi etsiä jokin muu paremmin sopiva maali tai kitti, jolla pohjatyöt voitaisiin tehdä.

Jatkotutkimusta työn osalta voisi tehdä tutkimalla takaspoilerin virtausdynaamisia ominaisuuksia. Työstä rajattiin myös pois kappaleen viimeistely eli lasikuituisen spoilerin pohjatyöt, maalaus sekä kiinnitys tavaratilan kanteen. Näiden vaiheiden jälkeen voitaisiin laskea kokonaiskustannukset koko valmistusprosessille.

Henkilöautoon syntyi pohjatöitä ja maalausta vaille valmis spoileri. Spoilerista on myös olemassa muotti, joten spoilereita voidaan valmistaa lisää esimerkiksi myyntiä varten. Työssä on myös kuvattu muotin sekä valmiin lasikuituosan valmistusmenetelmät, jolloin työtä voidaan soveltaa muihin samankaltaisiin projekteihin.

Lähteet

3D-tulostuksen toimintaperiaate. 2023. Verkkoaineisto. AIPWorks.

<https://aipworks.fi/3d-tulostus/tietoa/3d-tulostuksen-toimintaperiaate>. Luettu 11.5.2023.

Artec Eva 3D-skanneri. 2023. Verkkoaineisto. AIPWorks.

<https://aipworks.fi/3d-skannaus/artec-eva-3d-skanneri/>. Luettu 1.2.2023.

PCP polyester pattern-coat primer. 2023. Verkkoaineisto. EasyComposites.

<https://www.easycomposites.eu/composite-pattern-coat-primer>. Luettu 10.3.2023.

Pellinen, Johanna. 2021. 3D-skannaus: Esittelyssä Artec 3D-skannerit. Verkkoaineisto. AIPWorks. <https://aipworks.fi/2021/06/08/3d-skannaus-esittelyssa-artec-3d-skannerit/>. Luettu 11.5.2023

STEP-tiedostot. 2023. Verkkoaineisto. Adobe.

<https://www.adobe.com/fi/creativecloud/file-types/image/vector/step-file.html>. Luettu 11.5.2023.

Sunanda, M. & Nayak, Siva. 2013. Analysis of NACA 2412 for Automobile Rear Spoiler Using Composite Material. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering 1/2013, s. 236–237.

Ultimaker method 3D-tulostin. 2023. Verkkoaineisto. AIPWorks.

<https://aipworks.fi/3d-tulostus/3d-tulostimet-2/ultimaker-method-3d-tulostin-2/>. Luettu 4.5.2023.

Valmistusmenetelmät - Komposiittirakenteet. 2019. Verkkoaineisto. Kevra Oy.

<https://www.lujitemuovi.fi/valmistustekniikka/5-1-valmistusmenetelmat/>. Luettu 1.4.2023.