

SPÄTNÉ INŽINIERSTVO A RÝCHLE PROTOTYPOVANIE V PROCESE NAVRHOVANIA AUTOMOBILOV

doc. Ing. Michal Fabian, PhD.

Katedra automobilovej výroby

Mäsiarska 74, 040 01 Košice

e-mail: michal.fabian@tuke.sk

Abstract

Most car designers stamp ideas captured in a sketchbook into a mass of clay. That was the case half a century ago and it is still happening today. Due to this fact, the design of shapes in the automotive sector cannot be done without the process of scanning the material model and digitizing it into a digital surface model. The model is then edited on the computer and subjected to analyses, simulations and production data is generated. The modified model is later produced on CNC machines or printed on a 3D printer for further evaluation. The description of the basic principles of the process of converting a clay material model into a digitized form of a 3D surface model and its subsequent prototype production will be the topic of this article..

Key words: CAD, CAM Reverse Engineering, Rapid Prototyping, Cloud of Points

ÚVOD

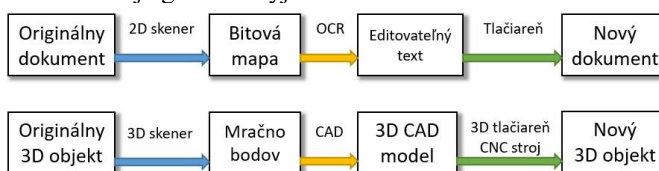
Hmotný model sa vytvára na základe skíc dizajnéra (Obr.), jeho vytvorením získavame reálnu predstavu o tvare a estetickom dojme navrhovaného automobilu. Najdôležitejšie je, že sa ho môžeme dotýkať a tvarovať ďalej. Súčasné výrobné technológie však požadujú digitálny model, ktorý prináša mnoho výhod. Používa sa predovšetkým k odvodeniu tvarových častí lisovacích nástrojov alebo foriem pre vstrekovanie plastov. Ďalej sa využíva k vizualizácii, doladovaniu tvarov, technologickej príprave výroby a k rôznym analýzám kvality tvaru vytvorených povrchov. Digitálny model je následne možné podrobiť pevnostnej analýze metódou konečných prvkov. V konečnej fáze technickej prípravy výroby je digitálny model nevyhnutný pre vygenerovanie CNC kódov pre výrobu nástrojov - hlavne foriem na výrobu výliskov plechových komponentov alebo výstrekov plastových dielov. Proces spätného inžinierstva sa začína skenovaním hmotného modelu. Výsledkom skenovania je mračno bodov, ktoré slúži ako východisko pre digitalizáciu. Výsledkom digitalizácie sú tzv. voľné tvarové povrchy, tzv. Free Form Surfaces (FSS). V počítači sa povrchový model upravuje do požadovaného tvaru. Modifikovaný model sa neskôr vyrába na CNC strojoch, alebo sa tlačí na 3D tlačiarňami pre jeho ďalšie posudzovanie. Popísanie

základných princípov procesu prevodu hlineného hmotného modelu do digitalizovanej podoby 3D povrchového modelu a jeho následná prototypová výroba bude témou tohto článku. [1]



Obr. 1 Tvorba hmotného modelu na základe skíc [2]

Proces získavania digitálneho 3D modelu je podobný procesu skenovania a digitalizovania textového papierového dokumentu. Princíp znázorňuje grafické vyjadrenie na Obr. 2.



Obr. 2 Analógia digitalizácie textu a 3D hmotného modelu

Skenovanie

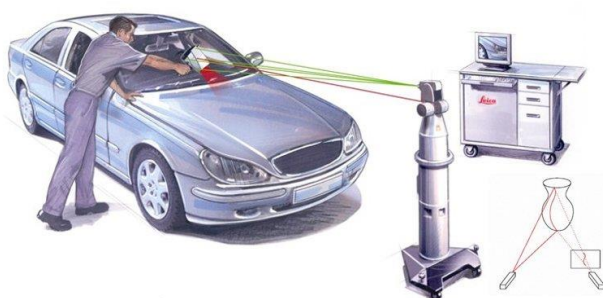
Prvým krokom digitalizácie je získanie informácie o tvare povrchu objektu. Jedná sa o zosnímanie tvaru povrchu digitalizovaného objektu skenerom. V našom konkrétnom prípade bol použitý skener Leica T-Scan s laserovým trackerom AT901. Systém je určený pre skenovanie rozmerných objektov (komponenty automobilov, lietadiel, lodí).

Princíp činnosti skenovacieho zariadenia Leica je schematicky znázornený na Obr. 3, 4. Zo schémy vyplýva, že v procese skenovania sa získavajú súradnice polohy skenovacej hlavice v priestore (x, y, z), natočenie hlavice v priestore (i, j, k) a signál odrazeného lúča hlavice skenera (profil tvaru) (Obr. 3). Na základe týchto informácií

získavame 3D dáta tzv. mračno bodov určené na ďalšie spracovanie v CAD systéme.

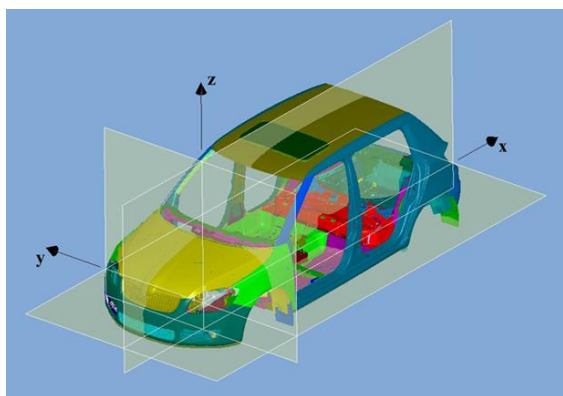


Obr. 3 Princíp činnosti skeneru Leica



Obr. 4 Princíp snímania tvaru a postavenie skenera a objektu pri skenovaní [3]

Princíp skenovania je zobrazený na Obr. 4. Základný súradnicový systém automobilu je znázornený na Obr. 5.



Obr. 5 Základný súradnicový systém automobilu

Softvérová rekonštrukcia zosnímaných dát

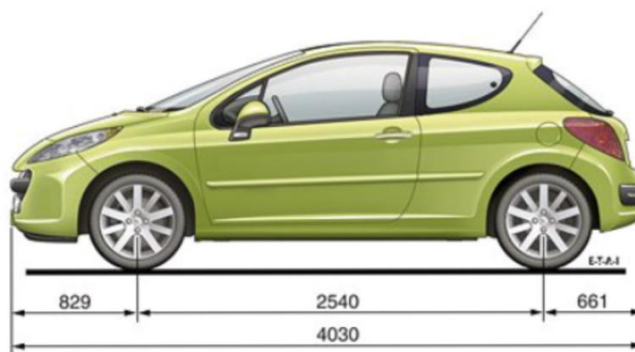
Základom digitalizácie povrchov bolo získanie a následné spracovanie mračna bodov. Naskenované mračno bodov bolo primárne upravené v softvéri PolyWorks od firmy *InnovMetric Software* komunikujúcim s meracím zariadením *Leica* a následne exportované do dátového formátu STL. Dáta v tomto formáte ďalej slúžili ako základ pre spracovanie v CAD systéme *CATIA V5 R21*. Tento CAD systém disponuje modulom *Digitized Shape Editor*, ktorý je určený na spracovanie mračen bodov.

Objektom skenovania boli predné ľavé dvere automobilu Peugeot 207. Jedná sa o dvere

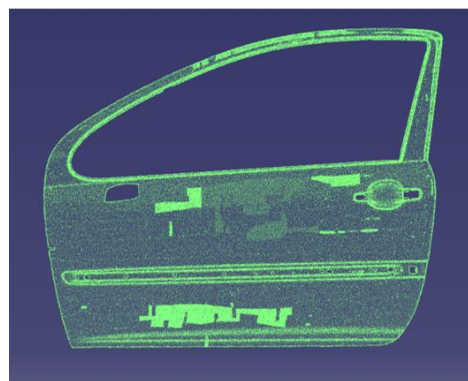
malého hatchbacku v trojdverovej verzii. Vzhľadom na to, že boli skenované „holé dvere“, k tvarovaniu kľučky dverí bol použitý „blueprint“ tohto vozidla.

Prvým krokom procesu digitalizácie bolo načítanie STL dát v module *Digitized Shape Editor*. Načítaním tohto súboru boli získané tzv. „primárne dáta“, ktoré bolo potrebné v tomto module spracovať (Obr. 7). Dôležité bolo vymazať nepotrebné zhľuky bodov a šумы, ktoré vznikli pri skenovaní. Následne bolo možné filtrovať mračno bodov tak, aby bola hustota bodov rovnomerná a vhodná k vytvoreniu triangulačnej siete a vytváraniu rezov, z ktorých vznikli profily rezových kriviek. Tieto krivky ďalej slúžili k vytváraniu povrchov (Obr. 11).

Upravené a filtrované mračno bodov je na Obr. 8. Mračno bodov je množina bodov so súradnicami XYZ, ktoré o sebe navzájom nevedia. Preto je nutné týmto mračnom „preložiť“ tzv. triangulačnú sieť, kedy sú body pospájané do trojuholníkovej siete, ktorá nám umožní prvotnú vizualizáciu povrchov, aj keď to povrchy nie sú. Takéto znázornenie nám ukáže aj rôzne nespojitosti a defekty siete. (Obr. 9).

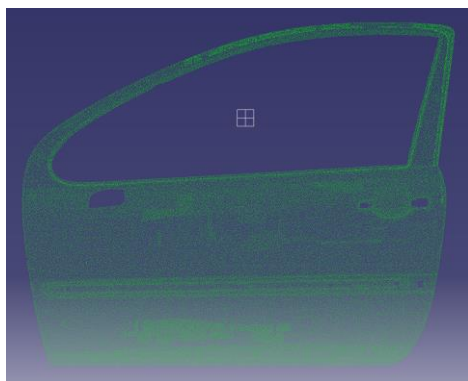


Obr. 6 Blueprint bokorysu automobilu Peugeot 207



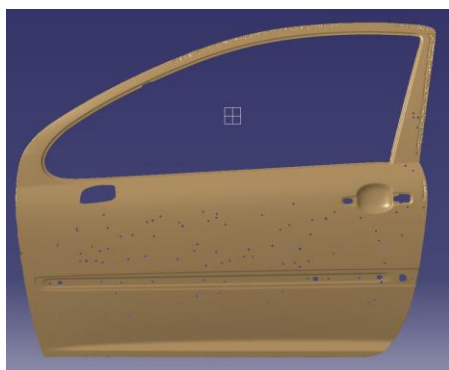
Obr. 7 Mračno bodov dverí automobilu Peugeot

Na Obr. 9 vidno, že sieť má viacero nespojitostí, ktoré sú znázornené ako otvory-diery na povrchu. Tieto nespojitosti sa dajú softvérovo odstrániť funkciou *Fill Holes*. Jednotlivé otvory sú doplnené trojuholníkmi triangulačnej siete na základe hraníc detegovaných otvorov.

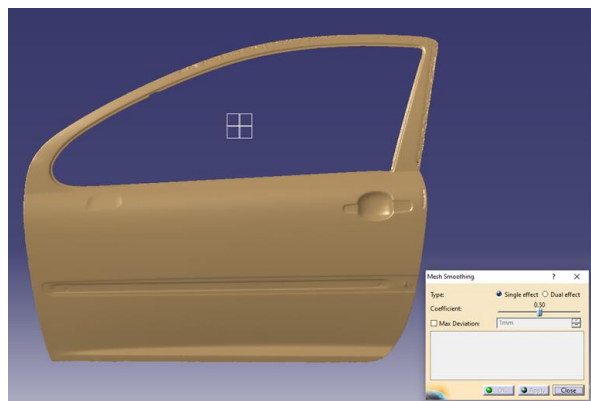


Obr. 8 Upravené a filtrované mračno bodov

Následne sa dá sieť ešte „vyhladiť“ príkazom Mesh Smoothing. Takto upravená triangulačná sieť dverí je na Obr. 10. Pripravená triangulačná sieť umožňuje začať postupný proces vytvárania jednotlivých povrchov dverí.

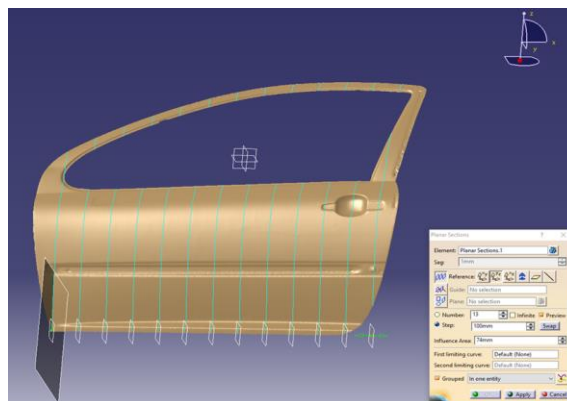


Obr. 9 Defekty a nespojitosti triangulačnej siete



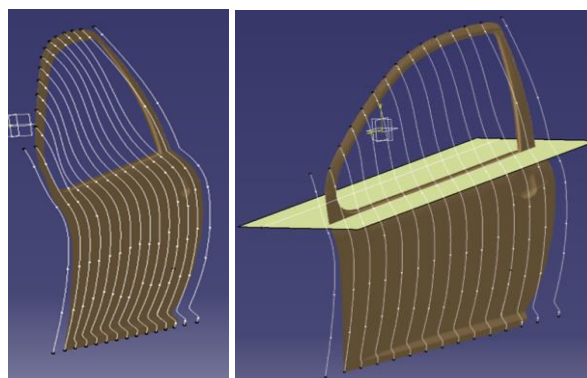
Obr. 10 Sieť po vyplnení otvorov a vyhladení siete

Proces sa začína vytvorením rezových kriviek profilu dverí, ktoré vzniknú ako priesečníky rovín paralelných s rovinou YZ s triangulačnou sieťou. (Obr. 11)

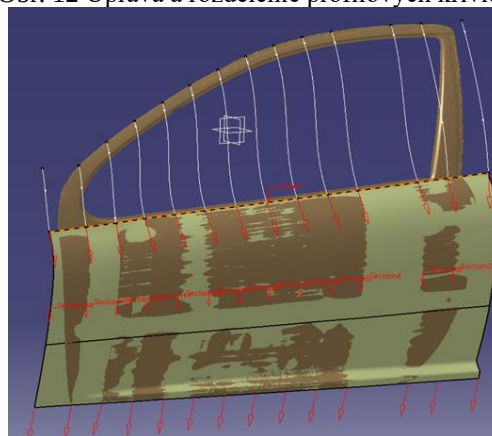


Obr. 11 Tvorba rezových-profilových kriviek

Výsledkom sú prierezové krivky povrchu dverí, ktoré kopírujú tvar povrchu. Žiaľ kopírujú aj nedokonalosti a nerovnosti siete, ktoré sa prejavujú pri vytváraní plochy dverí ako nerovnosti, preliačiny a vlny. Preto je potrebné krivky upraviť a vyhladiť. Následne boli krivky rozdelené rovinou v úrovni spodného okraja okna (Obr. 12), pretože budú vytvárané zvlášť povrchy spodnej časti dverí (Obr. 13) a povrchy rámu dverí (Obr. 14).



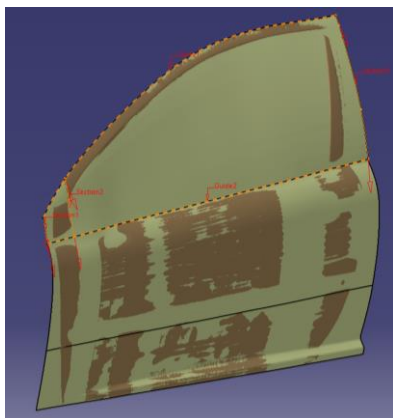
Obr. 12 Úprava a rozdelenie profilových kriviek



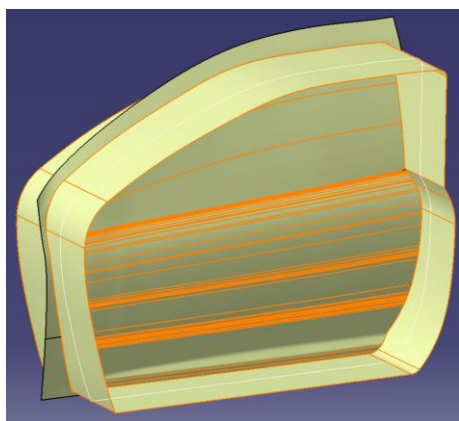
Obr. 13 Tvorba spodnej časti dverí

Následne bola vytvorená skica profilu dverí v rovine ZX, z ktorej bol vytvorený prizmatický obvodový povrch (Obr. 15). Ním boli orezané povrchy spodnej časti dverí a povrchy rámu dverí. Podobne bol naskicovaný aj otvor pre okno. Z neho bol vytvorený prizmatický obvodový povrch na

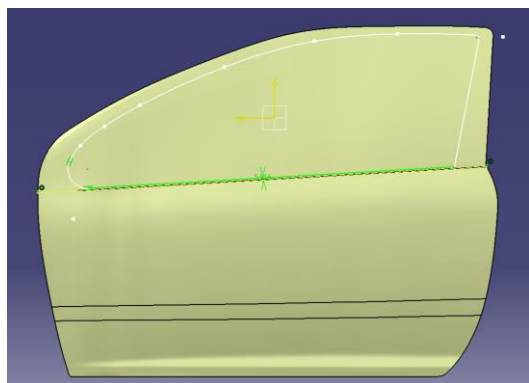
základe ktorého sme vyrezali otvor pre okno.
(Obr. 17)



Obr. 14 Tvorba povrchu rámu dverí

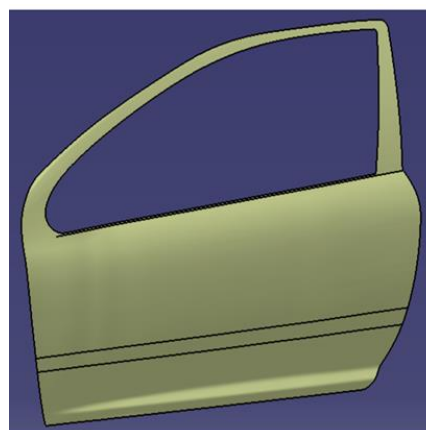


Obr. 15 Orezanie obvodu dverí

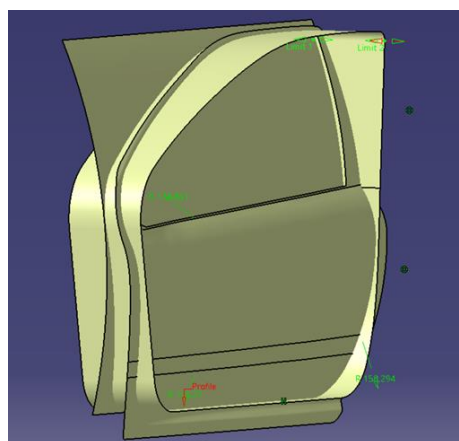


Obr. 16 Orezaný obvod dverí

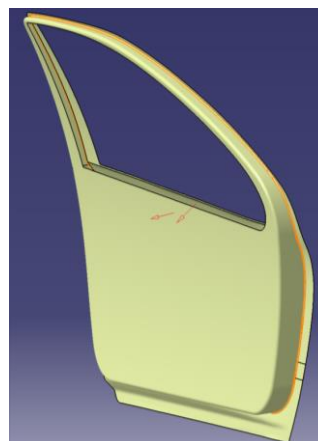
Na Obr. 17 je výsledný povrchový model vonkajšieho tvaru plechu dverí. Podobne bude vytvorený aj povrch vnútorného tvaru dverí a spojenie medzi nimi stredným spojovacím povrchom. Všetky tieto povrchy sú znázornené na Obr. 18.



Obr. 17 Orezané dvere s výrezom okna



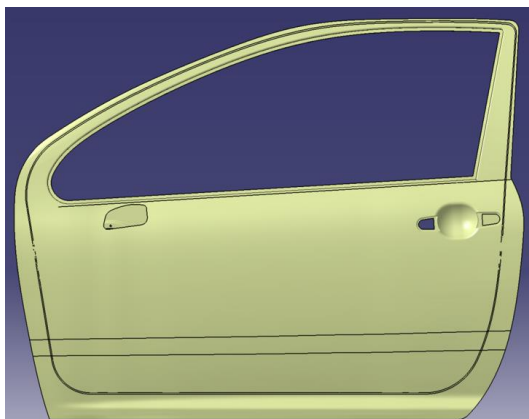
Obr. 18 Tvoriace povrchy vnútra dverí



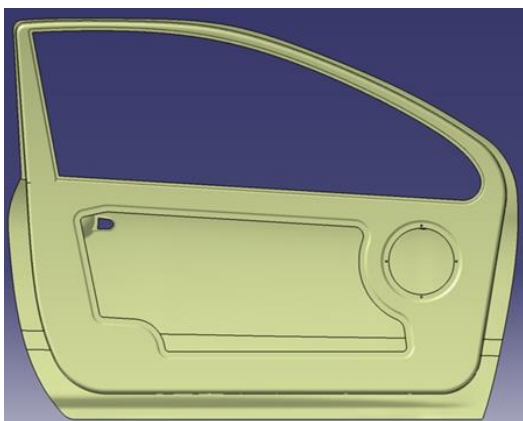
Obr. 19 Dvere s vnútorným povrchom a spojovacím obvodovým povrchom

Na vonkajšom plechu dverí je potrebné spraviť vybratia na opevnenie kľučky dverí, sférický priestor pre ruku v oblasti kľučky a otvor pre uchytanie spätného zrkadla. Vo vnútornom plechu je potrebné spraviť výrezy pre reproduktor a montážny otvor pre mechanizmus ovládania dverí a okien, ktorý bude nakoniec prekrytý vnútornou výplňou dverí. Vonkajší tvar dverí s vybratiami pre kľučku a ruku je na Obr. 20. Vnútorný tvar dverí s otvorom pre reproduktor a montážny otvor vnútornej výbroje dverí je na Obr. 21.

Následne bolo na základe mračna bodov vytvorené vonkajšie ľavé spätné zrkadlo s vybratím pre inštaláciu smerovky. (Obr. 22)



Obr. 20 Vonkajší tvar dverí

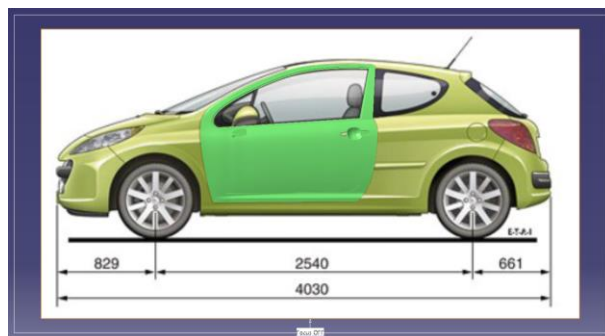


Obr. 21 Vnútný tvar dverí

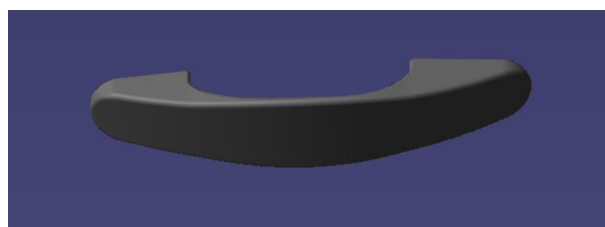
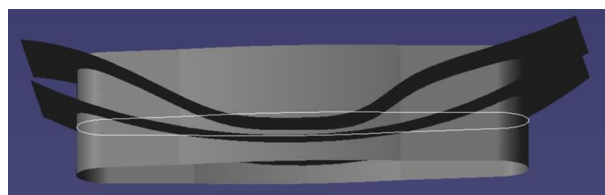
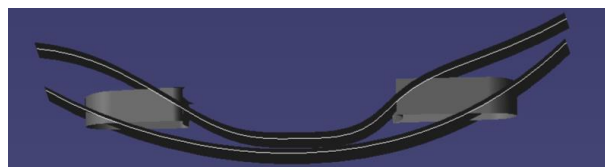
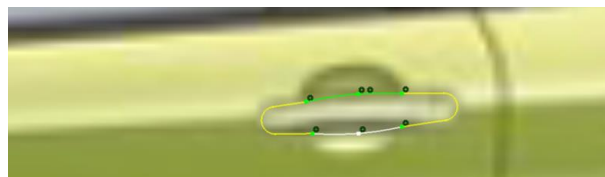


Obr. 22 Model vonkajšieho spätného zrkadla

Model vonkajšej kľučky dverí bol vytvorený na základe blueprintu, keďže skenované dvere boli bez kľučky. V module Sketch Tracer sme naimportovali blueprint automobilu a skalibrovali ho na základe rozmeru rázvoru náprav na skutočnú veľkosť automobilu. Sprvu boli vytvorené dosadacie plochy kľučky na dvere a neskôr tvoriace povrchy samotnej kľučky dverí. (Obr. 24)

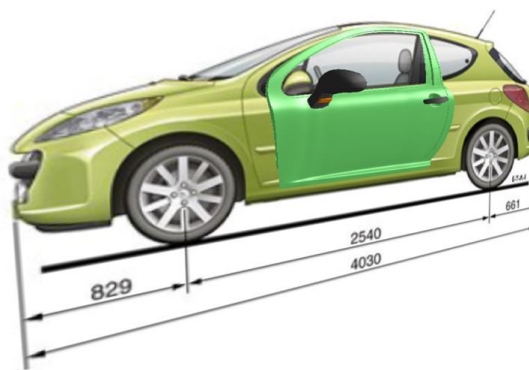


Obr. 23 Blueprint automobilu s 3D modelom dverí



Obr. 24 Postup tvorby kľučky dverí

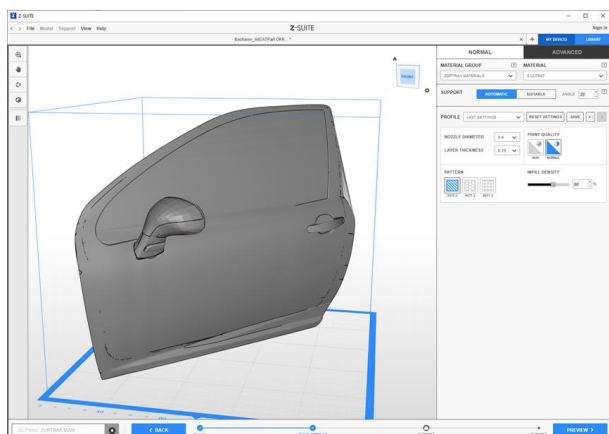
Finálny tvar dverí s kľučkou a spätným zrkadlom spolu s blueprintom je zobrazený na Obr. 25. [1]



Obr. 25 3D pohľad na finálny tvar dverí

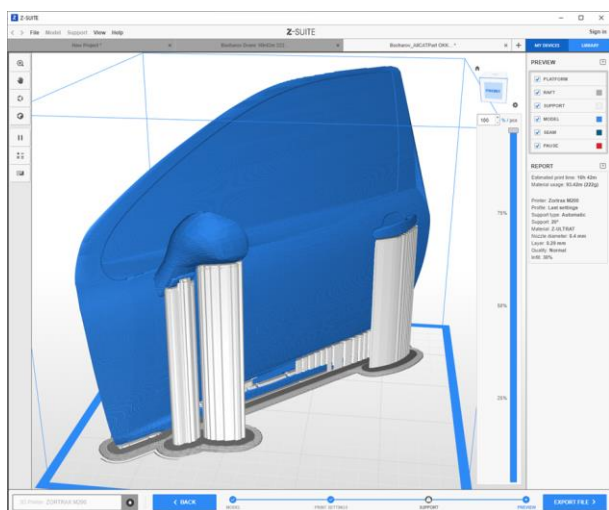
Definovanie dát pre 3D tlač

V procese návrhu automobilu sa pre overenie tvarov alebo aj funkcionality komponentu vytvárajú 3D výtlačky navrhnutých komponentov v prototypovej kvalite. V našom prípade sme model dverí vytlačili na 3D tlačiarňi technológiou LPD (Layer Plastic Deposition). Jednalo sa o tlačiareň ZORTRAX M200 s objemom tlače o rozmeroch 200x200x180 mm. Vzhľadom na rozmer dverí bolo nutné model dverí zmenšiť na 16% pôvodnej veľkosti a model umiestniť pootočený po diagonále tlačového priestoru. (Obr. 26)



Obr. 26 Model dverí zmenšený a umiestnený po diagonále tlačového priestoru

Model bol vytlačený z materiálu ABS pod obchodným názvom Z-ULTRAT. Pri definovaní tlače bola definovaná tlačová podložka a podporný materiál v oblasti kľučky a spätného zrkadla z vonkajšej strany dverí. (Obr. 27)



Obr. 27 Definovanie tlače dverí a podporného materiálu

Z vnútornej strany dverí bol definovaný podporný materiál v oblasti rámu dverí po hornom obvode dverí. Program vypočítal, že tlač potrvá 16 hodín a 42 minút. Pri tlači sa spotrebovalo 222

gramov materiálu. Finálny model výtlačku dverí je na Obr. 28.



Obr. 28 3D výtlačok dverí Peugeot 206

ZÁVER

Cieľom článku bolo popísať problematiku využitia reverzného inžinierstva a rýchleho prototypovania v procese návrhu automobilu na konkrétnom prípade digitalizácie dverí automobilu. Digitalizovaný model bol následne vyrobený v zmenšenej mierke na 3D tlačiarňi technológiou LPD. Virtuálne modely sú určené pre generovanie dát pre CNC výroby činných častí lisovacích a vstrekovacích nástrojov. Ďalej sú použiteľné pre rôzne analýzy a simulácie. Nakoniec boli vytlačené na 3D tlačiarňi. 3D tlač sa stáva štandardom v procese výroby hmotných prototypov pre posudzovanie dizajnu a funkcionality výrobku.

Článok bol vypracovaný s podporou projektu VEGA 1/0238/23.

Literatúra

- [1] Bocharov, L.: Návrh virtuálneho 3D modelu dverí automobilu s využitím rôznych prístupov modelovania, Diplomová práca, Technická univerzita v Košiciach, 2022
- [2] Design Online, [cit. 25.06.2011], URL: < <http://www.cadesignonline.com> >
- [3] Alto, Instruments, Leica T-Scan, [cit. 25.06.2011], URL: < <http://www.alto.ae/en/leica-t-scan> > <http://www.nieco.sk>
- [4] Groover, M.P.: "Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems 6th Edition", Wiley, ISBN: 978-1-119-12869-4
- [5] Várady, T. et al.: "Reverse engineering of geometric models - An introduction", COMPUTER-AIDED DESIGN, Volume: 29 Issue: 4 Pages: 255-268, 1997, ELSEVIER SCI LTD, ISSN: 0010-4485