



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VYHOTOVENÍ MODELU FORMULE 1 METODOU RAPID PROTOTYPING

CONSTRUCTION OF THE FORMULA 1 MODEL BY RAPID PROTOTYPING METHOD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUBOŠ FIBIKAR

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JOSEF SEDLÁK, Ph.D.

BRNO 2011

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je vyhotovení modelu monopostu Formule 1 pomocí grafického software SolidWorks. Konečnou verifikací bude výroba 3D modelu aditivní technologií rapid prototyping s využitím komerčně dostupné metody Fused Deposition Modeling.

Klíčová slova

Formule 1, monokok, Ferrari F60, Solidworks, Rapid prototyping, Fused Deposition Modelling, STL.

ABSTRACT

The aim of this work is original model of Formula 1 design using a graphical software SolidWorks. Final verification of the 3D model of additive manufacturing Rapid Prototyping technology using commercially available methods of Fused Deposition Modeling.

Key words

Formula One, monocoque, Ferrari F60, Solidworks, Rapid prototyping, Fused Deposition Modelling, STL.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FIBIKAR, L. Vyhotovení modelu formule 1 metodou rapid prototyping. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 41 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Vyhotovení modelu Formule 1 metodou Rapid prototyping vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum:

.....
Luboš Fibikar

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Josefu Sedlákovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt	5
Prohlášení.....	6
Poděkování.....	7
Obsah.....	8
1 Úvod.....	9
2 REŠERŠE O MONOPOSTU FORMULE 1	10
2.1 Základní informace	10
2.2 Monoposty F1	11
2.2.1 Monokok	11
2.2.2 Pohonné ústrojí	12
2.2.3 Aerodynamika monopostu	13
2.2.4 Kola a pneumatiky.....	14
2.3 Scuderia Ferrari F60.....	14
2.3.1 Úpravy na monopostu během sezóny 2009	16
3 POPIS A POSTUP MODELOVÁNÍ VE ZVOLENÉM SOFTWARE	19
3.1 Postup modelování	19
3.2 Detailní postup modelování dílu „nos“	21
4 POPIS APLIKOVANÉ TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPING	27
4.1 Metoda Fused Deposition Modelling (FDM)	28
4.2 3D FDM tiskárna uPrint™	29
5 VERIFIKACE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	30
5.1 Preprocessing.....	31
5.2 Processing	34
5.3 Postprocessing.....	35
6 ZÁVĚR.....	37
7 SEZNAM OBRÁZKŮ	38
8 SEZNAM TABULEK.....	38
9 POUŽITÉ ZDROJE.....	40

1 ÚVOD

V současnosti je vrcholný motoristický sport formule 1 stále populárnější. V tomto odvětví je proto důležité udržet neustálou atraktivitu závodů. Pro sezónu 2009 byla tato snaha nejvíce patrná na celkové vizuální podobě monopostů. Především se jedná o odstranění aerodynamických prvků umístěných na kokpitu formule. Z mého subjektivního pohledu jsou nyní formule mnohem lákavější. Tato zaujatost mne proto vedla k vytvoření 3D modelu monopostu Scuderia Ferrari F60 v grafickém softwaru SolidWorks. Cílem praktické části je sepsání detailního postup při modelování. Teoretická část pojednává o základních informacích týkajících se tohoto motoristického odvětví. Důraz je především kladen na technické parametry monopostu.

V dnešní době je stále využívanější výroba součástí pomocí tzv. prototypů nazývána Rapid Prototyping, a to především z důvodu snížení výrobních nákladů popř. i zrychlení celého výrobního procesu. Proto tato práce obsahuje podrobný popis metody Fused Deposition Modelling využité při tisku monopostu. Součástí práce je vytištěný model formule Scuderia Ferrari F60.

2 REŠERŠE O MONOPOSTU FORMULE 1

Základní myšlenkou pro vznik automobilových závodů bylo vytvoření automobilů s co nejlepšími vlastnostmi pro rychlou jízdu. Samotný závod představuje měření sil mezi účastníky startovního pole, jež se pokoušejí o co nejkratší čas potřebný na ujetí předem stanované vzdálenosti. Proto se v tomto odvětví setkáváme s nejmodernějšími a nejpokrokovějšími technologiemi, které mají tendenci aplikace na běžné vozy. V současné době je odvětví Formule 1 značně svázáno technickými a sportovními pravidly, za účelem co nejvyšší bezpečnosti a současně zachování sportovní atraktivity. [2]

2.1 Základní informace

Formule 1 (dále už jen zkráceně F1) byla založena v roce 1948 a dodnes je považována za vrcholnou disciplínu celého motorsportu. Avšak prapočátky této sportovní činnosti nalézáme již v roce 1906, kde se jednalo o první automobilové závody s označením Grand Prix. Následné přejmenování na Formula Grand Prix nastalo s příchodem prvních technických regulí ve dvacátých letech 19. století. Ani tento název neměl dlouhého trvání, jelikož další změna nastala hnedle po válce. Novým oficiálním názvem se stala Formule A. Se závody, jako je známe dnes, to stále mělo málo společného, poněvadž soutěž neměla oficiální statut mistrovství. Bylo tedy zapotřebí uspořádání několika závodů během sezóny, tzv. Grand Prix. V roce 1947 vznikl základní záměr pro zorganizování mistrovství světa. Následkem této myšlenky jsme se dočkali dalšího a doposud posledního přejmenování na Formule 1. Její první realizování nastalo roku 1949, kde bylo na kongresu zástupců motorsportu zvoleno 7 závodů. Takto nově založené mistrovství světa bylo zahájeno závodem ve Velké Británii, a to již roku 1950. Tehdy se jednalo však pouze o soutěž mezi závodníky, až po uplynutí dalších 8 let bylo přidání i mistrovství světa mezi konstruktéry.

Formule 1 je pod záštitou Mezinárodní automobilové federace (dále už jen zkráceně FIA) se sídlem v Paříži, v čele s Jeanem Todltem, jmenovaným do funkce v roce 2009. Novodobá historie této organizace je psána od roku 1946, kdy byla přejmenována z AIACR (Association Internationale des Automobiles – Clubs Reconnus). Správu veškerých financí a obchodních aktivit zajišťuje společnost Formula One Group, jež je ve vlastnictví SLEC Holdings a CVC Capital Partners.

Mezi další společnosti mající výrazný vliv na nynější podobu závodů Formule 1 bezpochyby patří Formula One Management, kde je většinový vlastník Bernie Eccelstone. V kompetencích FIA je tvorba veškerých závodních pravidel a ustanovení. Tyto předpisy se každoročně upravují především z důvodů zvýšení bezpečnosti na okruzích, snížení provozních nákladů a v poslední době velmi diskutované zvýšení atraktivity závodu častějším předjížděním monopostů. Na posledně jmenované byla zřízena i speciální Pracovní skupina pro předjíždění (OWG - Overtaking Working Group). Tato skupina se již prosadila o výrazné změny v celkovém designu monopostů.

Mezi další kompetence organizace FIA patří také dohlížení na dodržování veškerých technický pravidel pro vozy Formule 1. Jelikož jsou vozy Formule 1 nejpokrokovějším odvětvím automobilových závodů, musí být technické regule striktně stanoveny a následně i dodržovány. Každý nový mechanismus, nové technické řešení atd., musí být FIA schváleno a jednoznačně určeno, zda je pro celý motorsport potřebný a přínosný. Tým s novým prvkem musí současně FIA předložit úplnou dokumentaci o daném prvku i s přesným popisem funkce v systému vozidla. FIA má výhradní právo tuto novinku na své zvážení zamítnout. Dnes jsou technické regule značně rozsáhlé a čítají přes 50 stran. Avšak i dnes se stále setkáváme s tzv. „šedými zónami“, ke kterým mohou mít konstruktéři různý technický přístup. A proto jsou směrnice stále rozšiřovány a upravovány za účelem jednoznačnosti. [10]

2.2 Monoposty F1

Vozy F1 se v odbornější terminologii nazývají též monoposty. Jedná se o automobily se zadním pohonem určené pro závody na rychlostních okruzích. Z toho vyplývá i jejich konstrukce. Minimální hmotnost monopostu i s provozními kapalinami nesmí během celého závodního víkendu klesnout pod 605 kg.[9]

2.2.1 Monokok

Základním nosným prvkem celého monopostu je skořepina (monokok) tvořená z extrémně odolných uhlíkových vláken, konkrétně z 12-ti vrstev speciálních kompozitů z důvodu co nejnižší hmotnosti a zároveň maximální pevnosti. Mezi tyto vrstvy, tenčí než lidský vlas, je nanášen hliník pro lepší mechanické vlastnosti. Celý proces výroby monokoku probíhá tvářením pod vysokými teplotami a tlakem,

po kterém následuje vytvrzování. Tyto operace probíhají několikrát za sebou. Aby bylo možné aplikovat skořepinu na vůz, musí být ještě podstoupena pevnostní a nárazové zkoušce. Např. čelní nárazová zkouška zahrnuje náraz do ploché stěny v rychlosti 15 m/s. Celý monokok je však dovybaven palivovou nádrží, nosem a potřebnými závažími pro přesnější simulaci nárazu.[2]

2.2.2 Pohonné ústrojí

Jelikož jsou vozy formule 1 automobily s motory umístěnými uprostřed, motor se tedy nachází hned za skořepinou. Jak je patrné z obr. Základním a rovněž předepsaným parametrem motoru je jeho zdvihový objem, ten je roven 2400 ccm. Jedná se o osmiválcový motor s úhlem sevření 90° do V. Pro sezonu 2009 byly maximální otáčky motoru stanoveny na 18 000 ot./min. Díky takto vysoké hodnotě má motor výkon max. 750 Hp. Dle technických regulí byly motory zmrazeny, aby nedocházelo k další výrazným výkonnostním odchylkám na startovním poli. Jak už bylo výše uvedeno, tak i tento krok byl cílen k vyšší atraktivitě závodu v důsledku snazšího předjíždění. Předepsána je i minimální životnost jednoho motoru – tj. odjetí min. 3 závodů. Životnost motoru je hodně diskutovaným tématem mezi konstruktéry, poněvadž motor pracuje ve velmi úzkém výkonovém spektru. Mezi zjišťování spolehlivosti motoru patří telemetrie. Jedná se o proces důkladného sledování parametrů motoru za běhu. Jakákoliv včasné odhalená odchylka od standardních hodnot – může znamenat včasné zastavení šifřícího se problému. Např. upravení max. otáček motoru pro zvýšení spolehlivosti, avšak za cenu nižšího výkonu. Do celého pohonného ústrojí musíme zahrnout i převodovku. V pravidlech můžeme nalézt, že formule 1 mohou být vybaveny 4–7 stupňovými převodovkami, avšak pro plné využití potenciálu motoru všechny týmy využívají 7 stupňové poloautomatické převodovky s ovládáním pák u volantu. Jako konstrukčně nejlepší materiál pro výrobu převodové skříně se používá titan, díky tomu hmotnost převodovky klesla pod 5kg.[2,12]



Obr. 2.1 Pohonná jednotka Mercedes Ilmor [12]

2.2.3 Aerodynamika monopostu

S novými pravidly pro rok 2009 se aerodynamika monopostu stala ještě důležitějším faktorem, než tomu bývalo doposud. Na vozech dříve nesměla být umístěna žádná přídavná křídélka ani další pomocné aerodynamické prvky. Tímto se docílilo, že podoba monopostů mezi roky 2008 a 2009 je zcela odlišná, viz. Obr. 2.2. Opět tento předpis měl mít za následek zvýšení počtu předjíždění při Grand Prix. Během sezóny 2009 bylo však patrné, že ani takováto razantní změna na designu F1 nepřináší výrazné zlepšení.



Obr. 2.2 Porovnání monopostů Ferrari pro rok 2008 a 2009 [15]

Celá aerodynamika vozu F1 je navržena tak, aby kladla co nejnižší odpor vzduchu při jízdě. Dále je zapotřebí, aby monoposty měly, co neoptimálnější přitlak k vozovce z důvodu maximálního využití pneumatik. Jelikož čím více bude pneumatika přitlačována k vozovce, tím dochází k lepšímu přenosu hnací síly od kol. Takto vozy mohou dosahovat daleko vyšších rychlostí a stability při průjezdu zatáčkami. Pro upřesnění je zapotřebí dodat, že přitlak nesmí být až příliš velký, docházelo by tak nárůstu třecí síly, jež vede k rychlému opotřebenosti pneumatik. Na monoposty se proto instalují různé aerodynamické balíčky, které pro daný okruh znamenají výhodu jak rychlosti, tak stability. Podrobněji rozepsáno v kapitole věnující se monopostu Scuderia Ferrari F60.[11]

2.2.4 Kola a pneumatiky

V dnešní době jedním z hlavních komponent monopostu F1 jsou kola a pneumatiky. Vrchní konstruktéři F1 tvrdí, že výkonnost monopostu je z 35 % dána právě pneumatikami. A to už jak správné zahřání do provozní teploty 80–100 °C, tak i rychlost jejich opotřebenosti. Přední pneumatiky musí být o velikosti 12“ a zadní 13,7“. Průměr kompletního kola nesmí být více jak 660mm. Dle technických pravidel je dán i materiál na výrobu kol. Jedná se o homogenní kov s hustotou 1,74g/cm³ při teplotě 20 °C. Přesné složení pneumatik ovšem je přísně tajné. Gumová směs se totiž skládá až z 200 přísad, které výrazně ovlivňují vlastnosti pneumatiky. Dodavatelé pneumatik mají několik specifikací - super měkké, měkké, střední, středně tvrdé a tvrdé. Na závod se však dodávají pouze 2 specifikace z výše uvedených, které se rozlišují zeleným proužkem po obvodu pneumatiky. Novinkou pro sezónu 2009 jsou tzv. slicky. Jedná se zcela holé pneumatiky bez žádných drážek. Takováto konstrukce poskytuje daleko vyšší mechanickou přilnavost kola s vozovkou a následně lepší ovladatelnost monopostu v zatáčkách. Užívají se pro závod na suchu. Jestliže je závod vypsan jako mokrý, používají se pneumatiky extrémně mokré, které obsahují klasické drážkování. [13]

2.3 Scuderia Ferrari F60

Monopost pochází ze stáje Scuderia Ferrari Marlboro a jeho označení F60 nese přímou spojitost s 60. výročím působení stáje v F1. Kódové označení tohoto modelu bylo 660. Oficiálně představen byl veřejnosti 12. ledna 2009 v Mugellu.

Jak už je po dlouhé tradice ve stáji Ferrari zvykem, monopost je zahalen do rudé barvy. Celkový design působí velmi střídmě a oproti modelu z roku 2008 i lehčeji. Vzhledem k novým aerodynamickým pravidlům monokok neobsahuje žádná křídélka a další směrové prvky. Výjimku tvoří snad jen chytré umístění zpětných zrcátek na postranních sloupcích, nikoliv přímo na monokoku, jak tomu bývá zvykem. Toto řešení je výhodné z hlediska kontinuálního proudění na zadní křídlo, kde dochází k vyššímu přitlaku. Základní informace o monopostu F60 jsou souhrnně sepsány v tab. 2.1.[14]

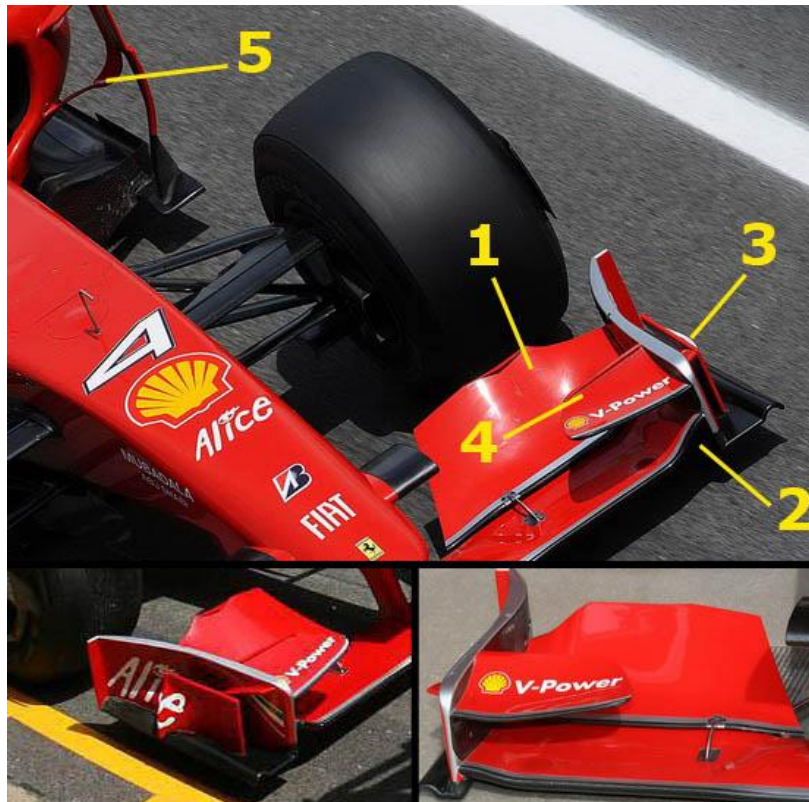
Technická data monopostu Ferrari F60		
Délka:	4910mm	
Šířka:	1800mm	
Výška:	1000mm	
Váha:	606kg	
Rozchod kol vpředu:	1050mm	
Rozchod kol vzadu:	1020mm	
Rozvor:	3110mm	
Převodovka:	Ferrari L7	
Brzdy:	Brembo	
Motor	<i>Označení:</i>	Tipo 056
	<i>Typ:</i>	V8 90°
	<i>Zdvihový objem:</i>	2398cm ³
	<i>Výkon:</i>	750hp
	<i>Vrtání:</i>	98mm
	<i>Zdvih:</i>	39,74mm
	<i>Ventily:</i>	32ks
	<i>Mazivo:</i>	Shell SL 1098
	<i>Palivo:</i>	Shell V-Power ULG 66-L/2
	<i>Váha:</i>	> 95kg
	<i>Vstřikování</i>	Magneti Marelli
	<i>Palivový systém</i>	Magneti Marelli
Pneumatiky:	Bridgestone	

Tab. 2.1. Technická data monopostu Ferrari F60 [14]

2.3.1 Úpravy na monopostu během sezóny 2009

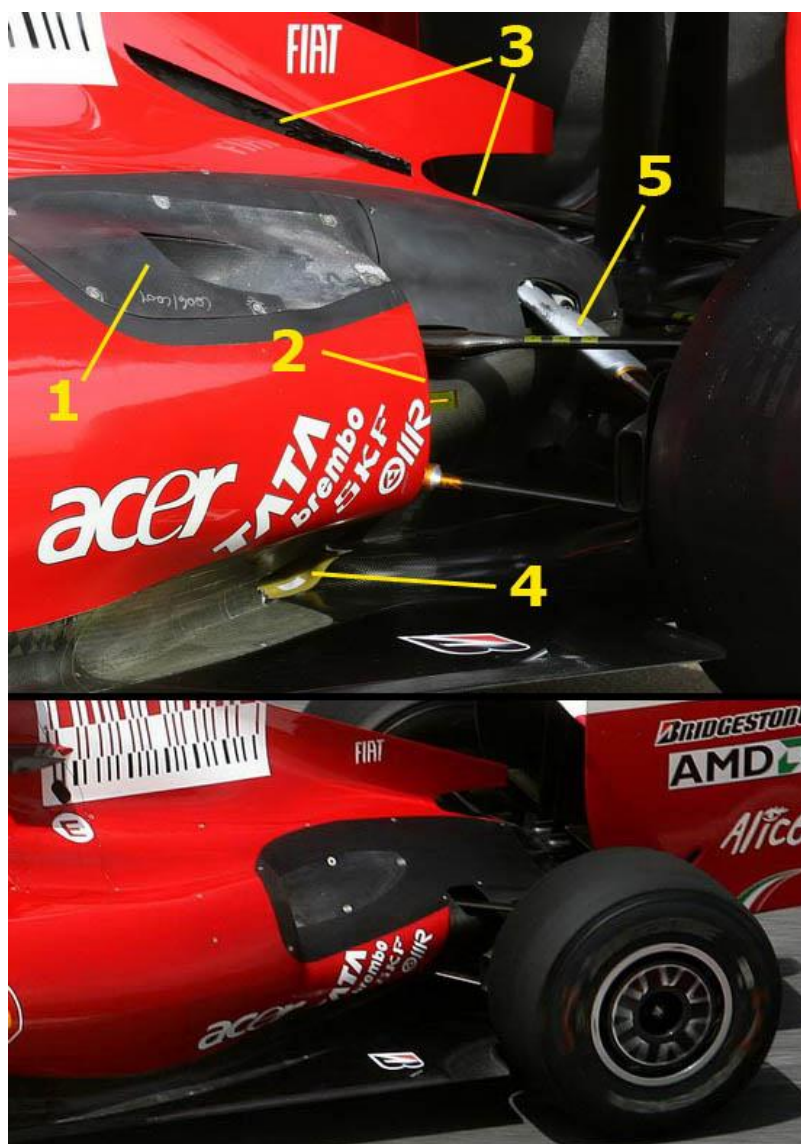
Pro zachování konkurenceschopnosti monopostu během dlouhé sezony je nutné, aby stáj vyvíjela neustále nové prvky. Jelikož je podle technických pravidel zakázáno během sezóny upravovat hnací agregát, stáje se proto uchylují především k úpravám aerodynamického rázu. Celý tento proces mají týmy naplánovány už od začátku sezóny, neboť se změny týkají většinou více celků naráz. Např. se aplikují tzv. aerodynamické balíčky. Pokud by byl na vůz aplikován pouze jeden samotný díl, nemusel by nutně přinést požadovaný výsledek. Měřítka tohoto výsledku je čas získaný na jedno kolo závodu.

Jelikož první závody stáje Ferrari nedopadly dle očekávání, celý proces musel být značně urychlen. Stáj uvedla hned v 5 závodech velmi výrazné změny, které měly přinést snazší ovladatelnost a především výrazné zvýšení rychlosti v kvalifikacích. Aerodynamický balíček obsahoval zcela přepracované přední přítláčné křídlo (obr. 2.3), podlahu monopostu, kryty kol, kryt motoru s bočnicemi (obr. 2.4) a v neposlední řadě i difuzor (obr. 2.5). Takto výrazné změny byly považovány za specifikaci B monopostu F60.[16]



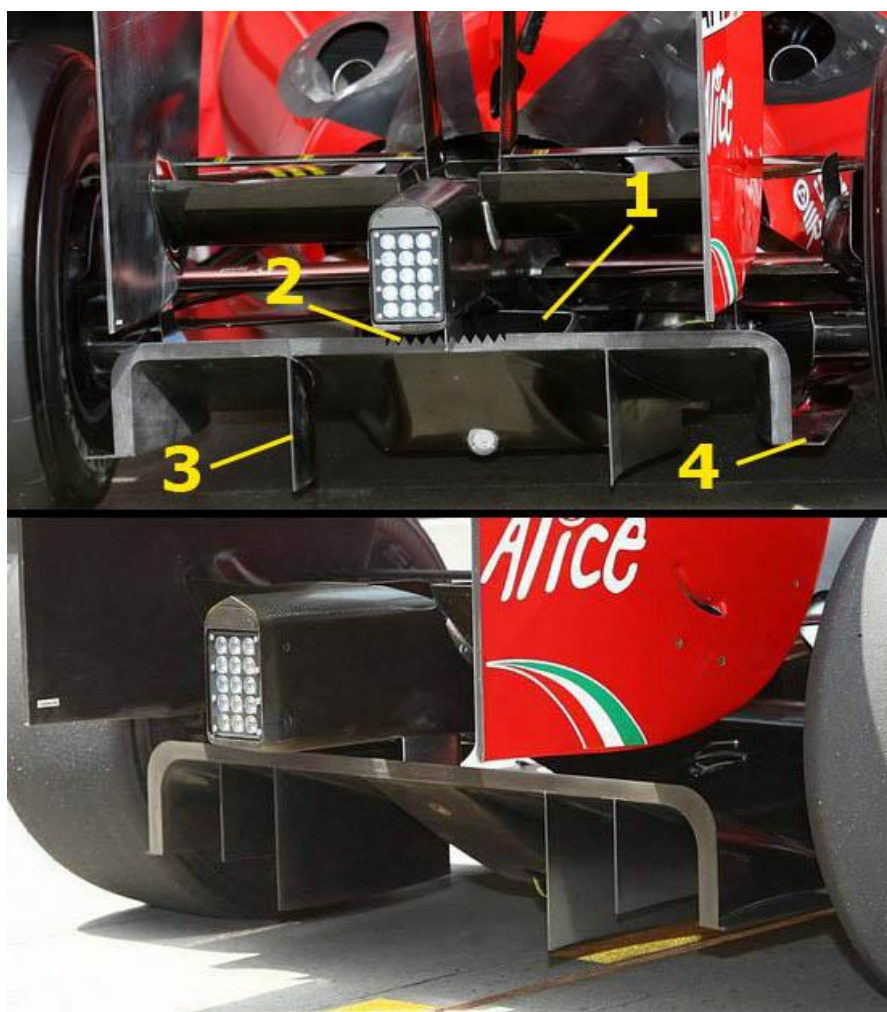
Obr. 2.3 Znárodnění změn na předním přítláčném křídle [16]

Pro porovnání slouží starší foto vpravo dole. Změna tvaru plochy s využitím Gurneyho klapky (1), autentická změna i na vrchním křídélku (4). Více zvednuté náběžné plochy hlavního spodního prvku (2). Zcela přepracovány bočnice užším usměrňovačem proudícího vzduchu (4). Pozice (5) znázorňuje uchycení zpětných zrcátek, je použit užší karbonový profil.



Obr. 2.4 Změny na krytu motoru [16]

Pro porovnání změn slouží spodní foto. Pozice (2),(3),(4) spolu výrazně souvisí, neboť jsou důsledkem přepracovaného systému odvádění horkého vzduchu od motoru. Pro instalování nového difuzoru bylo zapotřebí zvednout i zavěšení zadního kola (5).



Obr. 2.5 Změny difuzoru [16]

Pozice (1) znázorňuje, že B specifikace monopostu F60 obsahuje už dvojitý difuzor. Oproti konkurenci je však vrchní patro značně menších rozměrů. Po obvodu difuzoru je taktéž zakomponována tzv. Gurneyho klapka, jež má za účel výrazně zvýšit přítlak s co nejnižším odporem vzduchu. Zubové provedení (2) způsobuje snižování velikosti aerodynamického pytle za monopostem. Avšak od tohoto řešení se následně ustoupilo z důvodu potřeby vyššího přítlaku. Pozice (3) znázorňuje nové uspořádání vertikálních žeber difuzoru. Poslední změnou difuzoru je změna bočnic (4).

3 POPIS A POSTUP MODELOVÁNÍ VE ZVOLENÉM SOFTWARE

Předlohou pro vlastní modelování monopostu Ferrari F60 byly oficiální snímky publikované týmem Scuderia Ferrari, viz. příloha č. 1 dostupné na World Wide Web [21]. Z těchto fotografií ve vysokém rozlišení byly odebrány základní rozměry pro co nejrealističtější model. Tyto rozměry byly následně přepočítávány pro zhotovení modelu ve skutečné velikosti. Samotné modelování bylo prováděno v softwaru Solid Works 2010. Jedná se o grafický software vhodný pro modelování 3D součástí.

3.1 Postup modelování

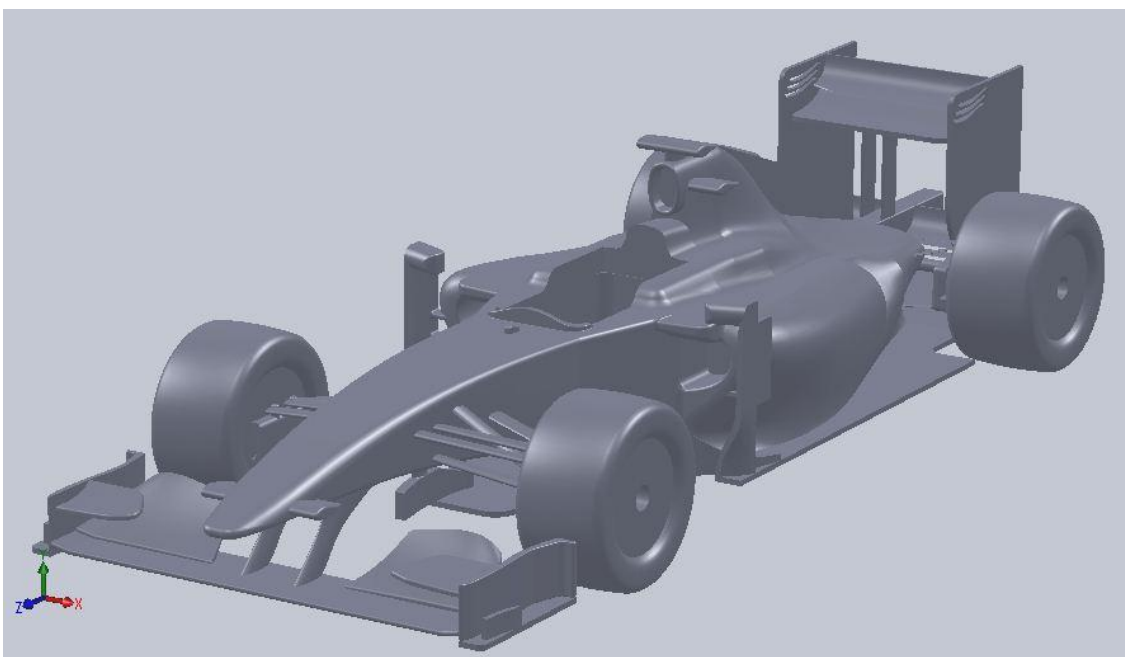
Vlastní model v měřítku 1:1 byl rozdělen na větší množství jednodušších dílů tzv. „partů“, které byly modelovány zcela zvlášť. Jednotlivé díly byly poté vkládány do sestavy. Jelikož monopost je z velké části symetrický, pro úsporu času bylo vhodné velké procento dílů tvořit tzv. „zrcadlením“. V bodu 3.2 je tato funkce detailně rozepsána.

Jako první modelovaný prvek jsem zvolil přední přitlačné křídlo z důvodu minimální časové náročnosti. Zde bylo zapotřebí nejprve navrhnout hlavní rovinu prvku, jež následně určovala i hlavní rovinu celého monopostu. Přitlačné křídlo je však vytvořeno pouze jako základní prvek, dodatečné detailní prvky jsou zavazbeny až na sestavě. Jelikož se jedná o tvarově velmi jednoduchý díl, je vytvořen narýsováním základního profilu, který byl následně vysunut. Takto bylo docíleno 3D rozměrného prvku. Stejným způsobem jsem postupoval při modelování následujícího prvku tj. zadního přitlačného křídla. Nejdříve byly detailně narýsovány boční vertikální díly křídla v základním pohledu, které opět vysunutím získaly finální podobu. Na těchto bočnicích jsou aerodynamické průduchy pro lepší přívod vzduchu k horizontálnímu křídlu vyvozující vyšší přítlak. Tento aerodynamický prvek je vytvořen pomocí *odebrání vysunutí* daného profilu skrze plochu. Pro kompletní přitlačné zadní křídlo bylo ještě zapotřebí přidat horizontální křídla, jež určovala základní šířku křídla stanovenou pravidly na 750mm. Jako doplněk k zadnímu křídlu zde byla vymodelována koncová svítilna. Opět se jedná o vytažení profilu na stanovenou vzdálenost.

Modelově nejzajímavější částí je bezesporu díl monokoku s podlahou. Tato část nese velké množství spojovaných profilů. Mezi těmito profily byl maximálně kladen důraz na plynulé přechody s využitím křivek. Monokok jsem rozdělil na dvě části, v horní části se nachází vytvarovaný průduch pro vstup vzduchu k motoru. Tato část je tvarově velmi složitá, jelikož zde dochází k zanikání několika profilů. Proto zde nebylo vhodné použít vysunutí, nýbrž funkci *spojování profilů* pomocí hraničních křivek. Spodní část představuje základní tvar monokoku s otvorem pro pilota. Samotný otvor pro pilota byl značně zjednodušen, a proto na modelu představuje pouze obdélníkový průřez se zaoblenými rohy. Tento obrys byl poté funkcí *odebrat vysunutím* vytažen do vzdálenosti 400mm. Na bocích spodní části monokoku jsou vymodelovány opět průduchy pro vstup vzduchu k motoru, taktéž funkcí *odebrat vysunutím*. Průduchy jsou detailně propracovány, proto je zde velký počet zaoblení a zkosení. V tomto dílu dále najdeme podlahu s jednopatrovým difuzorem. Postup modelování spočíval ve vytvoření základního profilu podlahy, jež byl následně vytažen. Samotný difuzor je nezbytně spojen s celou podlahou. Dalším krokem na této části bylo zhotovení zrcátek popř. jejich uchycení k podlaze. Toho jsem docílil opět tažením profilu po křivce, jelikož se ale jedná o významný aerodynamický prvek, bylo zapotřebí správně naparametrizovat křivky. Samotná zrcátka jsou upevněna na výše zmíněných sloupových úchytech.

Vyhotovení pneumatik spočívalo ve vytvoření kruhových profilů, jež byly následně vytaženy na patřičnou vzdálenost. Přední pneumatiky jsou o poznání užší než zadní. Pro uchycení kol k monopostu jsem použil čepy upevněné na brzdových systémech. Toto řešení bylo nutné použít, poněvadž jsem se obával tuhosti dílu při následném 3D tisku. Čepy kol jsou o 2mm menšího průměru, než kruhové otvory v pneumatikách a na koncích jsou opatřeny zvětšením průměru z důvodu upevnění kola.

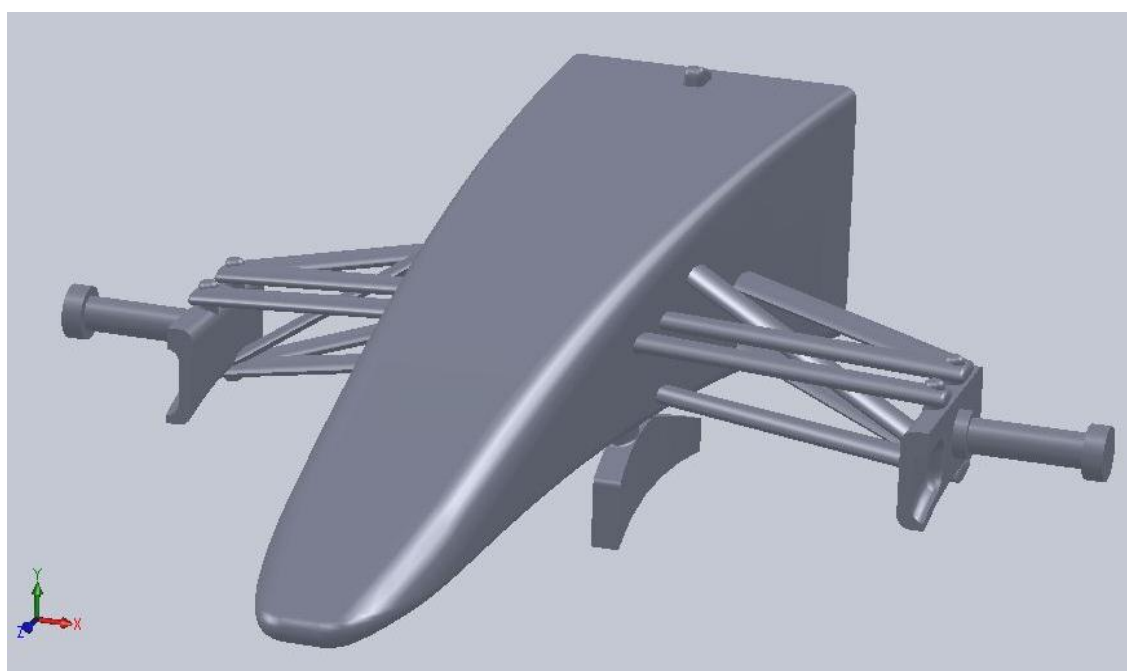
Pro co nejdetailnější model bylo nezbytné vybavit monopost patřičnými drobnostmi. Především se jedná o kamery umístěné ve špičce nosu a také v airboxu nad hlavou jezdce (viz. obr. 3.1). Dalšími detaily jsem taktéž vybavil přední přitlačné křídlo a to zejména bočnice. U reálného monopostu jsou na tyto prvky kladeny nejvyšší konstrukční nároky, neboť vzduch proudící okolo předního přitlačného křídla musí být co nejméně rozvířený.[1]




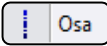
Obr. 3.1: Vymodelovaný monopost Ferrari F60 2009

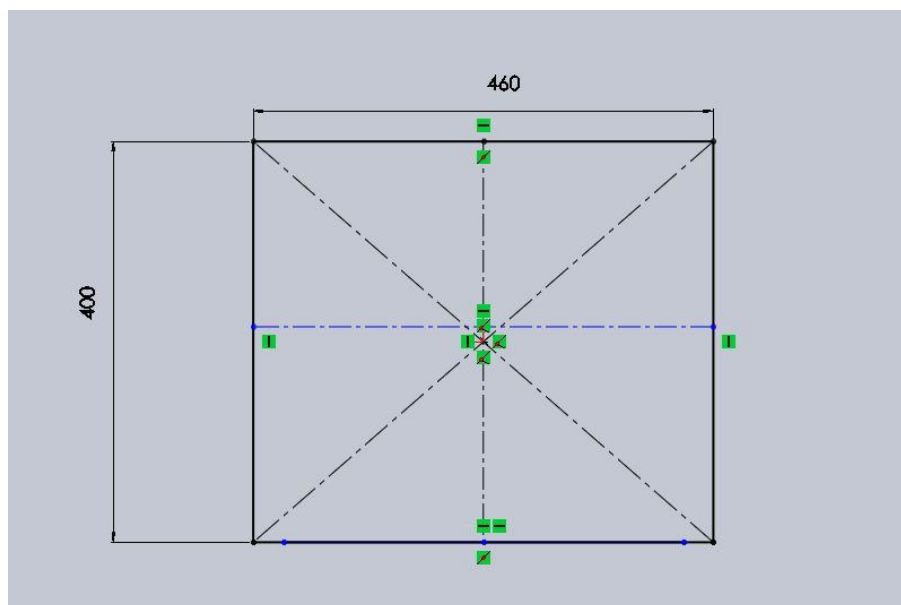
3.2 Detailní postup modelování dílu „nos“

Tato část je věnována detailnímu postupu pro vytvoření 3D modelu dílu „nos“. Pro lepší orientaci a pochopení je přiloženo několik otisků obrazovky. Tato část je tvarově velmi zajímavá, prakticky totiž tvoří základní rys celého monopostu.


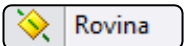



Obr. 3.2: Model dílu „nos“


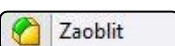
Základní krok pro vytvoření zužujícího se dílu nos spočívá v narýsování obdélníkového průřezu dle skutečné velikosti v přední rovině (viz Obr. 3.3). Toto je docíleno pomocí funkce *přímka* (klávesová zkratka L).  Příslušné rozměry průřezu nosu jsou zobrazeny na obr. 3.3. Tento náčrves jsem také opatřil osami, pro následné zrcadlení. Na tento proces byla použita funkce *osa*. 

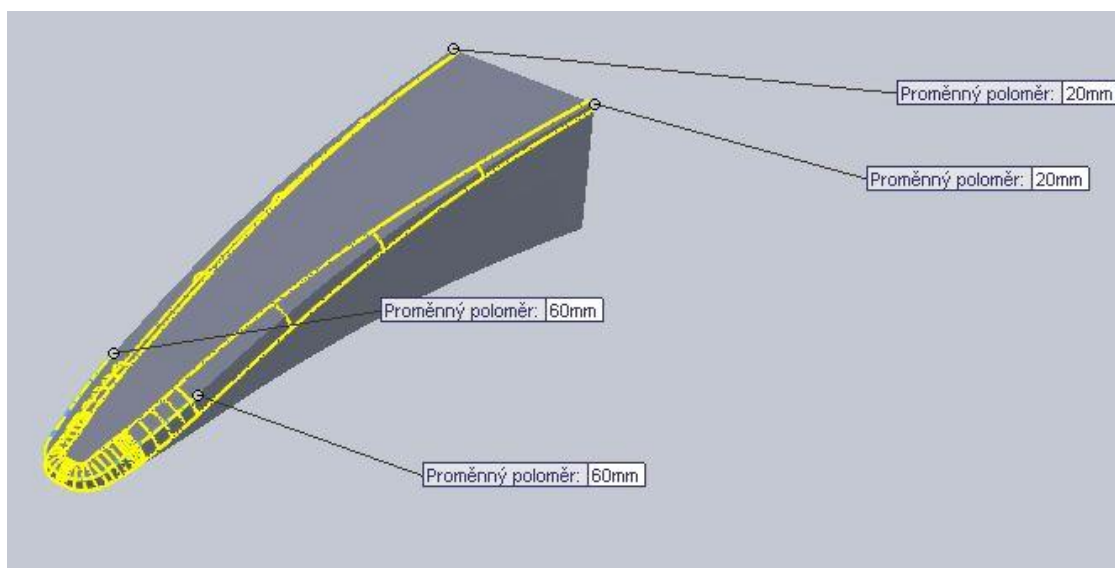


Obr. 3.3: Základní průřez nosu

Kompletní tvar nosu je zhotoven pomocí funkce *přidáním spojení profilů*,  proto je nezbytné narýsovat i druhý profil. Ten je opět vyhotoven do obdélníkového průřezu o rozměrech 220 x 30mm pomocí výše zmíněné funkce *přímka*. Nejdříve je však zapotřebí vytvořit rovinu náčrtu, jež je ve vzdálenosti 1900mm od základního průřezu. Vzdálenost jsem odečetl z přílohy č. 1. Vytvoření roviny lze provést hned několika způsoby. Mnou zvolená metoda je přes funkci *rovina* , jež se nachází v příkazu *referenční geometrie*. Zde bylo zapotřebí zvolit patřičné odkazy roviny, v mém případě se jednalo o konstrukční přímky s předem stanovenou vzdáleností, které jsou kolmé na danou rovinu. Pro realističtější tvar bylo nutné zhotovit boční hraniční křivky, jež budou určovat hranice spojení obou profilů.


Tento krok jsem provedl pomocí funkce *splajn*.  Roviny skicy pro hraniční křivky tvoří spojnice vrcholů daných základních průřezů.



Nyní již následuje samotné spojení obou obdélníkových profilů. Je nutné však přidat hraniční křivky, aby bylo docíleno požadovaného tvaru přechodu. Takto vymodelovaná část je zcela nevyhovující, neboť je třeba ji patřičně zaoblit a zkosit. To je však už provedeno v 3D zobrazení. Pro požadovaný tvar špičky nosu jsem nejprve použil funkci *zkosit* , s hodnotami vzdálenosti 30mm a úhlem 80°. Dále následovalo použití funkce *zaoblit* , s poloměrem 20mm. Poslední dílčí operací pro zhotovení základní části bylo poměrné zaoblení horní části nosu. Tato funkce je obsažena v příkazu *zaoblit*. Pro co nejrealističtější ztvárnění jsem použil hodnoty 20 až 60mm.

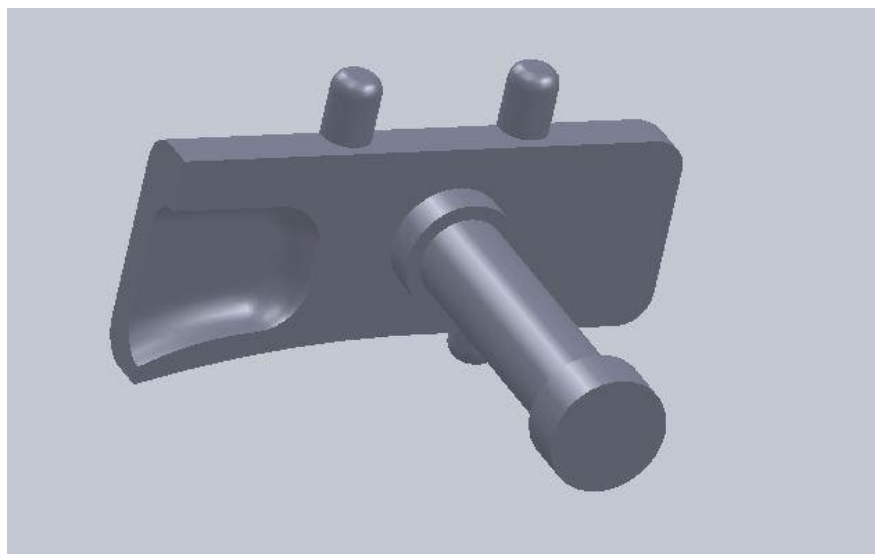


Obr. 3.4: Poměrné zaoblení dílu


Do kompletního dílu nos jsem zahrnul i vymodelování sání k brzdám, spojovacích tyčí ke kolům a následně i spodní deflektory. Nejdříve bylo nutné opět vytvořit rovinu skicy pro sání. V osově rovině spojení profilů jsem narýsoval pomocí konstrukčních přímek základní vzdálenosti od hlavního dílu nos. Pomocí těchto přímek byla zhotovena rovina, pro základní nákres sání. Výchozí tvar pro sání je použit upravený obdélník o rozměrech 320 x 120mm. Spodní hrana má však aerodynamický tvar pro efektivnější nasávání vzduchu ke třmenům. Tento tvar byl zhotoven pomocí funkcí *splajn* a *přímka*.

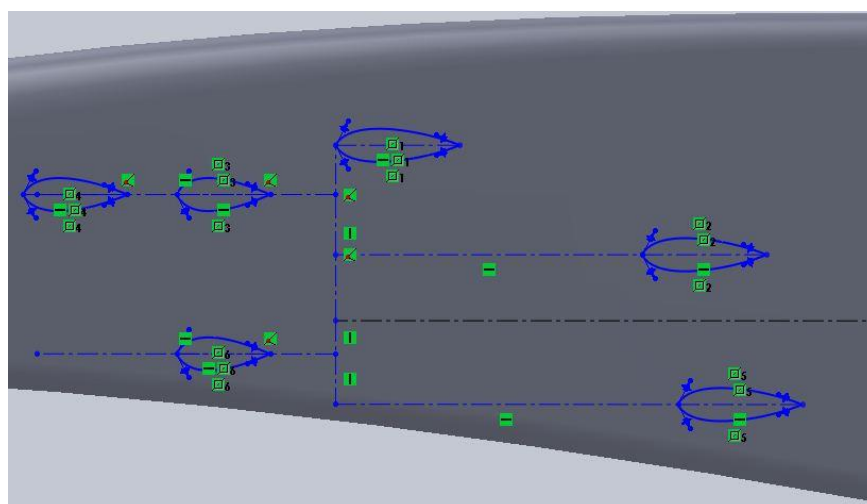
Pro vytvoření objemného dílu jsem použil funkci *přidání vysunutím* , jenž bude možné následně dále upravovat. Hodnotu vysunutí jsem určil 40mm, následně směr vysunutí byl od hlavního dílu. Šíře celého sání byla značně korigována, jelikož bylo zapotřebí docílit pevné konstrukce pro následující 3D tisk. Proto tento díl příliš neodpovídá realitě. Následné zdokonalování prvku spočívalo v zaoblování hran. Hodnota poloměru zaoblení je 20mm po celém obvodu prvku. Další operací je zhotovení vlastního průduchu. Tento tvar je narýsován přímo na ploše třmenu, kde je

pomocí funkce *odebrat vysunutím*  docílono požadovaného tvaru. Vysunutí negativního prvku jsem zvolil opět 10mm. Pro docílení aerodynamičtějšího prvku po této operaci následovalo zaoblení prvku. Poslední operací na třmenu je vymodelování příchytných čepů pro spojovací tyče. Toto je vytvořeno opět pomocí již známých funkcí *vysunout* a *zaoblit*. Rovina skicy čepů je shodná s rovinou vytažení třmenu. Na této rovině jsem narýsoval dvě kružnice pomocí funkce *kružnice*  o průměru 30mm ve vzdálenosti 50mm. Poté následovalo jejich vytažení na vzdálenost 40mm a zaoblení vrchlíků na 10mm (viz. obr. 3.5). Pro uchycení kol bylo také zapotřebí vybavit sání čepy. Tento úkon byl zhotoven pomocí narýsovaných kružnic s odstupňovanými průměry 36mm, 25mm a 36mm (viz. obr. 3.5). Tyto průměry byly vytvořeny vždy na koncových plochách vysunutí. Pro upevnění kola jsem rozměry vysunutí čepu zvolil 22mm, 170mm a 30mm.



Obr. 3.5: Zjednodušený díl sání s čepem pro kolo

Další výrazné prvky tohoto dílu jsou bezesporu spojovací tyče ke kolům. Zde jsem nejprve narýsoval v boční rovině nosu profily tyčí, které jsou od sebe vzdáleny dle obr 3.6. Profily jsou pomocí funkce *kopírovat entity*  Kopírovat entity nakopírovány do patřičných vzdáleností.

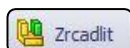


Obr. 3.6: Skica profilů tyčí ke kolům

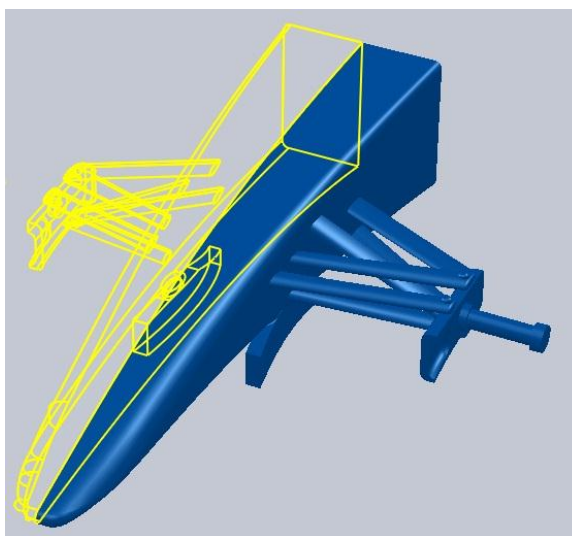
Stejným způsobem jsem postupoval i na koncové straně, čili v rovině sání. Především bylo důležité umístit profily přesně na vymodelované čepy, aby došlo ke spojení dílů a tudíž i k upevnění kol. Vlastní vymodelování kolových tyčí nyní spočívalo ve spojení profilů pomocí stejnojmenné funkce. Tyto díly byly následně esteticky upraveny a to pomocí známé funkce *zaoblit*.

Posledním dílem je spodní deflektor pod nosem. Díl je v průřezu opět prohnutý, proto bylo nutné použít opět funkci *splajn*. Rovina skici byla tvořena pomocí odsazení od středové roviny o 80mm. V této rovině jsem narýsoval aerodynamický průřez s konstantní tloušťkou 40mm. Celý tento profil byl poté vysunut směrem dolů na vzdálenost 110, jelikož však zasahoval do nosu monopostu, bylo potřebné kolidující hranu srazit. Následná konečná úprava spočívala v zaoblení hrany na 10mm. Pro uchycení k nosu na horní ploše deflektoru byly narýsovány 2 elipsy. Tyto průřezy byly poté vytaženy ke spodní ploše nosu.

Celý díl nos je kompletně symetrický, proto bylo možné využít funkce *zrcadlit*



. Jelikož ale profil nosu byl rýsován jako celek, nikoliv pouze jeho jedna polovina, bylo nutné druhou polovinu odstranit. Tento jednoduchý úkol jsem vyřešil pomocí narýsování většího obdélníku než je celý nos. Následně byl tento obdélník prostřednictvím funkce *odebrat vysunutím* vytažen. Takto jsem docílil pouze jedné poloviny nosu (viz. Obr 3.7). Posléze jsem již model ozrcadlil, rovinu zrcadlení tvořila základní pravá rovina prvotního nákresu.



Obr. 3.8: Zrcadlení modelu nos

4 POPIS APLIKOVANÉ TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPING

Výrobní proces metod rapid prototyping lze charakterizovat jako vytváření prototypových součástí přímo z virtuálního 3D modelu. V základní podstatě lze 3D model získat dvěma způsoby. Prvním způsobem je vymodelování přímo ve vhodném softwaru, další metoda spočívá ve využití reversního inženýrství za pomoci 3D skeneru. Takto získané virtuální modely jsou poté prostřednictvím trojrozměrného tisku zhmotněny. V nynější době existuje již široké spektrum technologií (viz. tab. 4.1), avšak všechny mají společné hlavní rysy tisku. Především se jedná o nemožnost použití dílů na zatěžovaná místa. Proto se s finálními prototypy setkáváme zejména při prezentacích nových projektů, kde je zapotřebí zdůraznit vzhled popř. pozici na sestavě. Dalším společným rysem je především výrobní proces, kde se jedná o rozdělení virtuálního modelu na velké množství relativně velmi tenkých rovin, ve kterých je prováděno samotné nanášení materiálu po vrstvách. Pomocí metod rapid prototyping tak vyrábíme bez jakéhokoliv odebrání materiálu z polotovaru. V současné době se také v těchto metodách setkáváme s využitím stále pevnějších materiálů např. tvrzené plasty, kovy a také speciální keramika.[3,4,5]

Popis základních metod Rapid prototyping		
Název	Zkratka	Princip metody
Stereolithografy	SL	<i>Ozařování polymeru laserem</i>
Solid Ground Curing	SGC	<i>Vytvrzování polymeru pomocí ultrafialového světla</i>
Selective Laser Sintering	SLS	<i>Tavení práškového materiálu dochází pomocí laseru</i>
Laminated Object Manufacturing	LOM	<i>Vyřezávání modelu pomocí laseru</i>
Three Dimensional Printing	3DP	<i>Vstříkávání pojiva do práškového materiálu</i>
Fused Deposition Modelling	FDM	<i>Nanášení materiálu po vrstvách pomocí trysky</i>
Ballistic Particle Manufacturing	BPM	<i>Nanášení kapek roztaveného materiálu pomocí piezoelektrické trysky</i>
Multiphase Jet Solidification	MJS	<i>Vytlačování kovového a keramického prášku</i>

Tab. 4.1: Základní metody Rapid prototyping [16]

4.1 Metoda Fused Deposition Modelling (FDM)

Princip této technologie spočívá ve vytlačování materiálu přes zahřátou trysku na pracovní prostor, jež bylo vyvinuto firmou Advanced Ceramic Research. O vylepšení této metody se postarala firma Stratasys, Inc. v Minneapolis.

Nanášený materiál společně s materiálem podpory je pomocí cívek dopravován k tavné hubici, jež je přehřívána pod teplotu tavení materiálu. V pohybující se trysce je materiál následně zkapalněn a vytlačen do požadované pozice, kde posléze tvrdne. Takto je vytvořena jedna vrstva dílu. Celý proces je opakován, jelikož se model skládá z mnoha takových rovin. Šířka jedné vrstvy je v rozmezí 0,05 – 0,33mm v závislosti na dokonalosti tiskárny. Při tvorbě složitějších částí se současně nanáší i tzv. podpora, která je po vytvrdnutí odlamována popř. vyplavena. Materiál podpory tak například vytváří vůle pro funkční uložení. V současné době je již mnoho materiálů, které můžeme použít jak na primární materiál, tak i na materiál podpor. Nejběžnějšími jsou stále ABS plasty, které nejsou tak finančně náročné a lze je používat i v několika základních barvách. Pro výrobu prototypových součástí je i vyhovující jejich pevnost a houževnatost. Setkáváme se však s jejich mnoha modifikacemi, pro které jsou kladeny vyšší pevnostní nároky. Přehled několika materiálů je uveden v tab. 4.2.

Název materiálu	Popis materiálu
ABS	<i>Jedná se prakticky o základní materiál. Neoplývá vysokou pevností v tahu, proto byl následně značně modifikován.</i>
ABS Plus	<i>Materiál je přibližně o 40% pevnější, než klasický ABS plast. Tato vlastnost materiálu je využívána především v koncepčním modelování. Je dostupný v širokém spektru barev. Pevnost v tahu 36MPa.</i>
ABSi	<i>Tento materiál je často využíván v automobilovém průmyslu, jelikož je průhledný. Pevnost v tahu 37MPa.</i>
ABS-M30	<i>Pevnost materiálu je přibližně 25-70% vyšší než u základního ABS plastu. Prodloužení 4% Pevnost v tahu 36MPa.</i>
PC-ABS	<i>Nejpoužívanější materiál z termoplastů a to z důvodu vyšší pevnosti a také odolnosti vůči vyšším teplotám. Pevnost v tahu 41MPa</i>
PC	<i>Velkou předností tohoto materiálu je řádově dvojnásobná pevnost než u ABS Plus plastu. Pevnost v tahu 68MPa. Proto je hojně využíván v automobilovém průmyslu, lékařství a letectví.</i>
ULTEM 9085	<i>Vysoce odolný materiál. Pevnost v tahu 71MPa.</i>

Tab. 4.2: Základní materiály Rapid prototyping [7,8]

Celý tento proces výroby prototypu není doprovázen žádným hlukem ani tvorbou vibrací. Můžeme se tedy s těmito tiskárnami setkat v kancelářských místnostech a to i z důvodu, že nejsou příliš náročné na volný prostor. Běžná velikost těchto zařízení se pohybuje přibližně do 2m výšky. Hlavní nevýhodou těchto strojů je však pořizovací cena, která je velmi vysoká. [7,8]

4.2 3D FDM tiskárna uPrint™

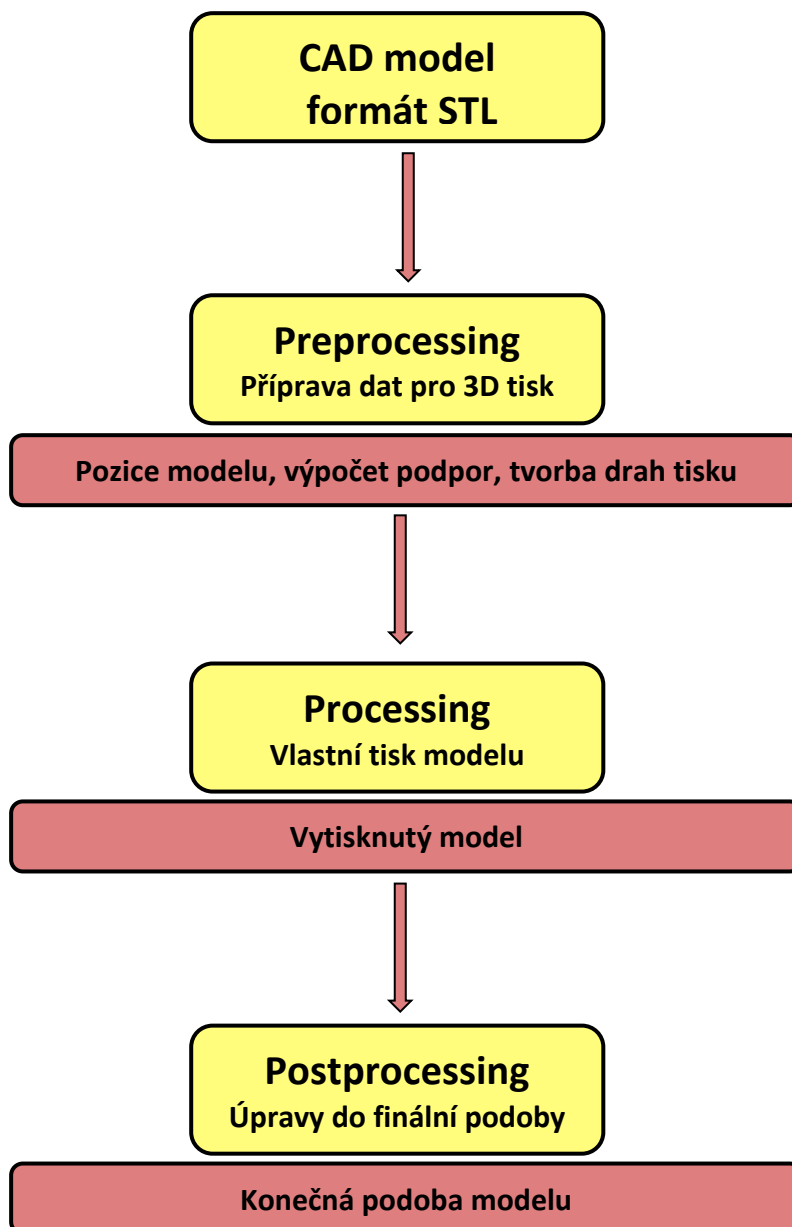
Jedná se o osobní tiskárnu minimálních rozměrů pracující s technologií FDM. Jako primární materiál je aplikován plast ABC Plus. Pro odstranění podpory se používá horké chemické lázně. Je možné použít několik barev např. modrá, zelená, žlutá, šedá apod. Tloušťka nanášených vrstev u tohoto modelu je 0,254 mm. Jelikož tiskárna není větších rozměrů, odpovídá tomu i pracovní prostor 203 x 152 x 152 mm. Nespornou výhodou tohoto stroje je rychlý tisk současně s tichým chodem. Proto je hojně využíván pro konstruktéry, kteří upřednostňují co nejkratší čas výroby prototypu. Přibližná cena tohoto modelu tiskárny se pohybuje okolo 12 000 €. [20]



Obr. 4.1: Rapid prototyping tiskárna uPrint™[15]

5 VERIFIKACE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

Rapid prototyping je výrobní proces, proto ho můžeme rozdělit na jednotlivé fáze, které se nazývají preprocessing, processing a postprocessing. V tomto bodu budou jednotlivé etapy detailně popsány pro výrobu modelu Formule 1.

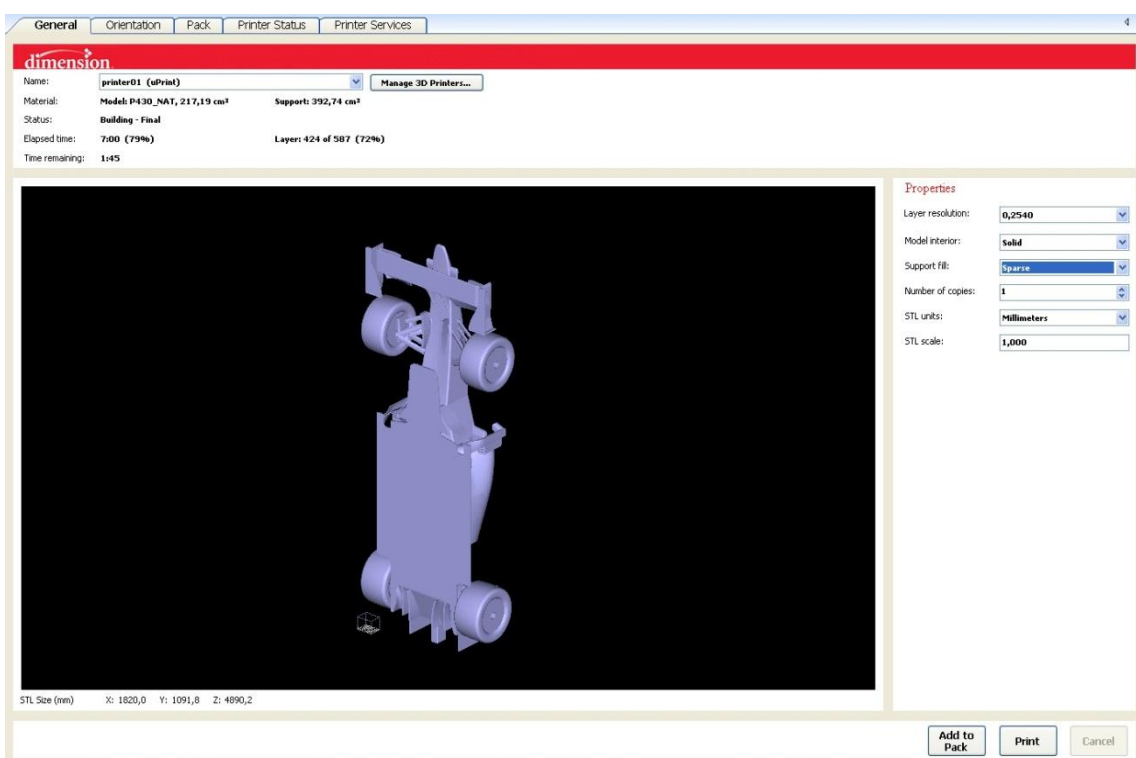


Obr. 5.1: Schéma etap tisku Rapid prototyping [7]

5.1 Preprocessing

Tuto etapu výroby můžeme volně přeložit jako „před-proces“, proto zde zahrnujeme všechny úkony, které předcházejí vlastnímu procesu tisk. Především se jedná o práci s daty modelu. Nejprve je zapotřebí převést model v grafickém softwaru do STL formátu, který je následně využíván v programu CatalystEX. Tento převod zajistí změnu geometrického tvaru na soubor rovinných ploch. Takto získáváme dokonalou trojúhelníkovou síť. Následuje otevření STL programem CatalystEX.

Zde je možné pracovat s kartami záložek, ve kterých je nezbytně nutné nastavit údaje pro tisk.



Obr. 5.2: Načtený model Formule 1 v STL formátu - záložka General.

Layer resolution: Nastavení tloušťky jedné vrstvy v mm. Pro co nejjemnější krok byla zvolena hodnota 0,254 mm.

Model interior: Toto nastavení upravuje výplň modelu. Zda se jedná o kompletně vyplněnou část – *Solid*, jemně odlehčenou – *Sparse high density* popř. nejkratší doba tisku a nejvyšší úspora materiálu – *Sparse low density*. Jelikož model Ferrari F60 není dutý, byla nastavena výplň *Solid*.

Support fill: podpurný materiál je využit jako nosná část modelu během tisku. Odstranění tohoto materiálu nastává při tzv. postprocesingu. Je zde možné nadefinovat několik technologických způsobů.

Basic: základní nastavení, kde je aplikována konzistentní vzdálenost mezi drahami nástroje. Může být použito pro většinu dílů.

Sparse: minimalizuje použití podpurného materiálu díky větším rozstupům. Nastaveno pro tisk modelu - obr. 5.4.

Minimal: vhodné pro malé části, z hlediska snazšímu oddělení podpory.

Break – away: podobné nastavení jako u *Sparse*, avšak s rozdílem uzavření drah nástroje a vyšší časové náročnosti tisku.

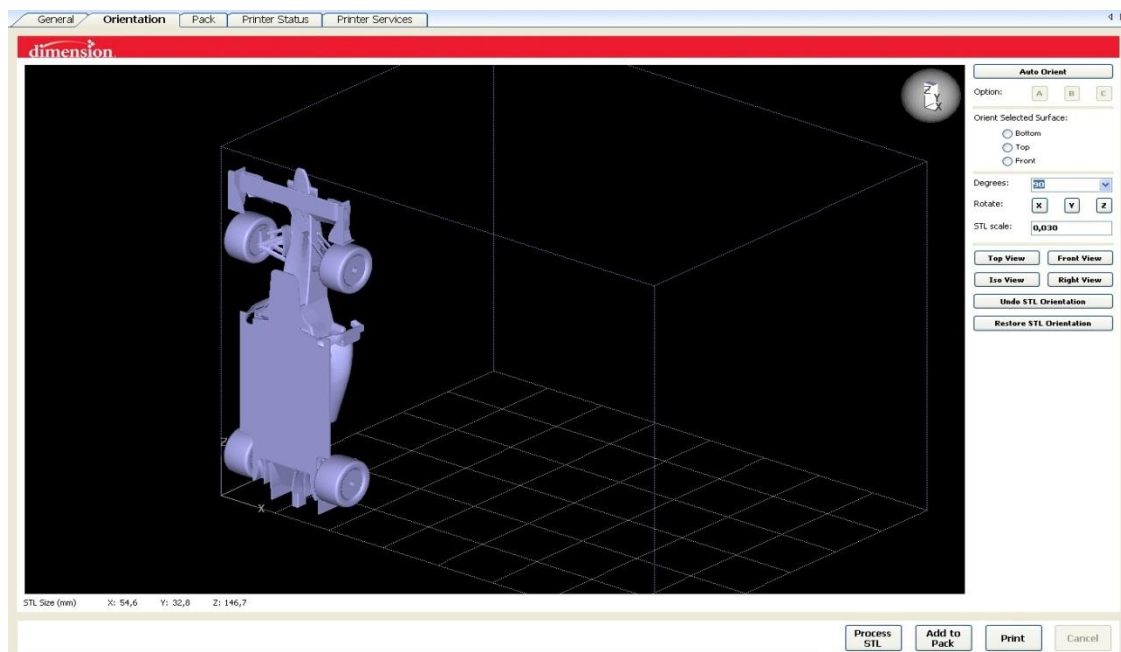
Surround: celý model je obklopen nosným materiálem, typické pro tisk vysokých úzkých modelů.

Numbers of copies: počet kopií 3D tisku.

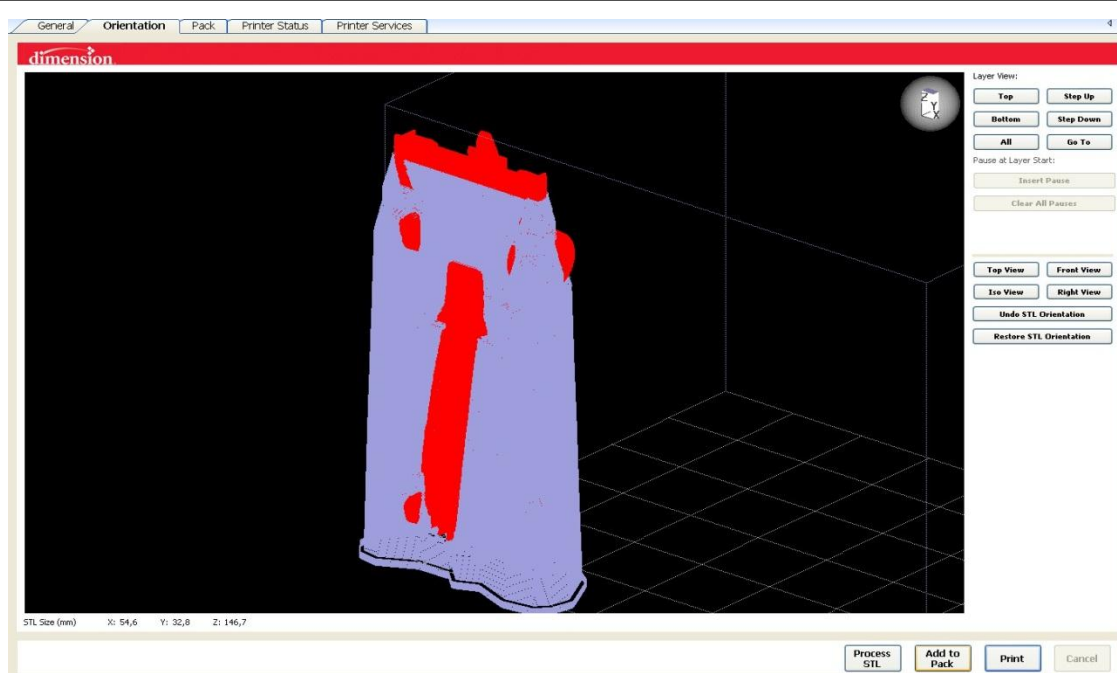
STL units: nastavení jednotek rozměru. Milimetr (mm) – palec (inch).

STL scale: hodnota pro zpracování STL souboru na velikost tisknutelné plochy. Pro model Ferrari F60 bylo nastaveno 0,030. Toto odpovídá měřítku 1:33.

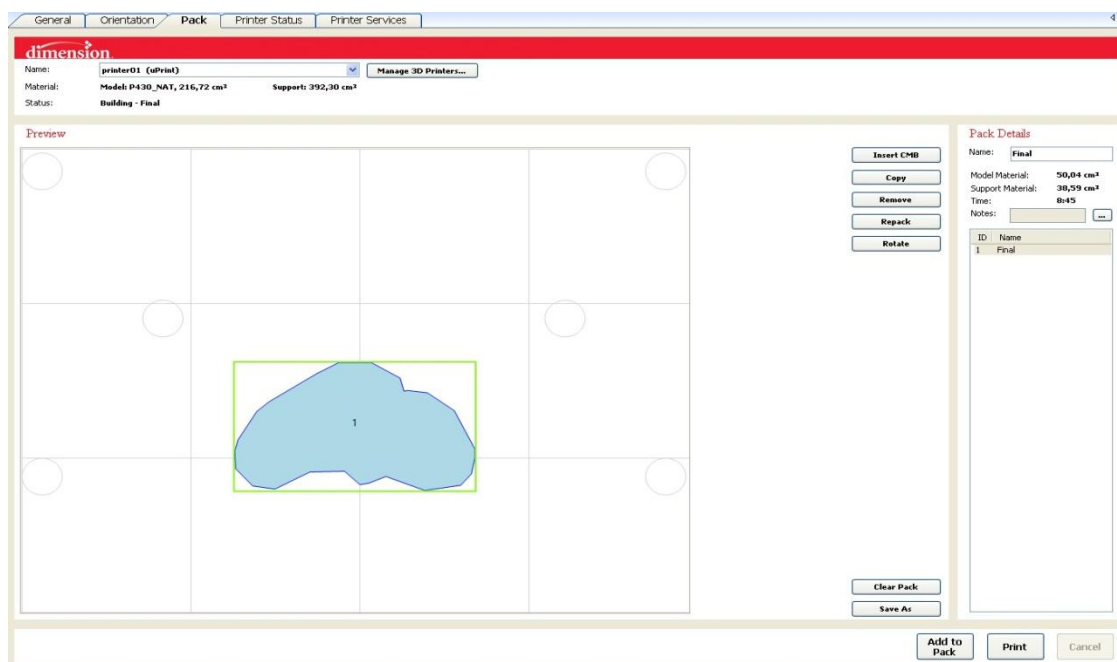
Následuje vhodné nastavení směru orientace tisku. Je nutné, abychom docílili efektivního tisku z hlediska úspory materiálu a času, tak i správného směru vrstevnic z důvodu zatěžujících stavů. Model Ferrari F60 byl tištěn dle obrázku č. 5.3.



Obr. 5.3: Orientace modelu při tisku



Obr. 5.4: Model s podpůrným materiálem



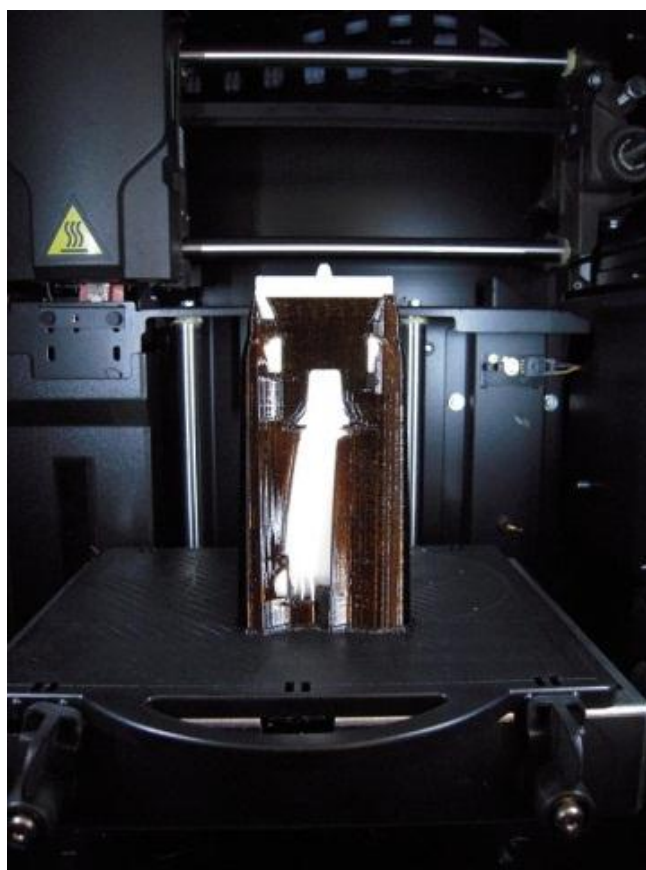
Obr. 5.5: Stanovení polohy modelu na desku.

Po nezbytném zkontrolování hodnot již následuje odeslání dat přímo na tiskárnu a to pomocí tlačítka Print.

5.2 Processing

Tato fáze výrobního procesu zahrnuje vlastní tisk modelu. Jak již bylo zmíněno v bodu 4.2, processing vykonávala tiskárna uPrint. Celkový odhadovaný čas tisku byl 7hodin a 7minut.

Nejprve je potřeba připravit pracovní komoru tisku zahřátím na teplotu okolo 80°C. Díky tomu to ABS plus plast příliš rychle neusychá. V následující operaci se nahřívá tisková hlava na velmi vysokou teplotu okolo 280°C. Nezbytným úkonem je i prvotní natištění podpůrného materiálu na desku, z důvodu následného oddělení modelu. Poté tavící tryska nanáší postupně všech 587 vrstev tisku. Nedílnou součástí je i pravidelné chladnutí a taktéž čištění trysky. Po dokončení celého procesu již můžeme odebrat vytištěný model, který následně v poslední fázi upravíme do finální podoby.



Obr. 5.6: Vytištěný model Ferrari F60 v pracovním prostoru tiskárny

5.3 Postprocessing

Celá tato fáze je souhrn všech dokončovacích operací pro daný model. Jelikož byl značně složitých a minimalistických tvarů, bylo zapotřebí k odstranění podpůrného materiálu chemických prostředků. K tomu to sloužil přípravek Stratasys na bázi hydroxidu sodného. Do předem vytvořené speciální chemické lázně byl model vložen, jak je patrné z obr 5.7. Při louhování docházelo k chemické reakci, při které se postupně odplavoval podpůrný materiál. Z důvodu urychlení procesu bylo zapotřebí měnit lázeň. Po dokončení této fáze bylo možné model ještě obrousit popř. nastříkat plničem, avšak z důvodu detailního modelování, tudíž i vytištění velmi složitých a tenkých prvků, byla tato část vynechána. Lehce by tak mohlo dojít k nevratnému poškození modelu.



Obr. 5.7: Model vnořený do chemické lázně



Obr. 5.8: Konečná podoba modelu Scuderia Ferrari F60

6 ZÁVĚR

Hlavní náplní této bakalářské práce spočívalo ve zhotovení modelu Formule 1 pomocí metody rapid prototyping. V úvodní části bylo pojednáno o základních rysech formulových vozů. Tento sport je hnán vysokým tempem vývoje kupředu. Touha závodních týmů vítězit nutí vytvářet stále nová efektivnější řešení daných součástí. Aby bylo docíleno ještě vyšší atraktivity, jsou prováděny změny v pravidlech sportu. Pro ročník 2009 tyto změny přinesly vizuální obrat ve vnímání monopostu. Proto jsou zde vyzdvíženy meziroční změny i sezónní vývoj v aerodynamice monopostu Scuderia Ferrari F60.

Konstruování samotného modelu formule probíhalo ve 3D softwaru, díky kterému byla tato práce značně pohodlnější. Při konstrukci bylo zapotřebí zjištění přesných rozměrů, abychom zachovali modelovou podobnost monopostu. Náročnost procesu spočívala především v odměření detailních částí, které jsou hůře pozorovatelné. Celý monopost se skládá z velkého množství dílů, proto byl sestaven podrobný postup tvorby pouze přední části formule. Muselo být však přihlíženo i na omezenosti tisku, tudíž jsou některé díly zjednodušeny.

Technologie rapid prototyping nachází své uplatnění ve stále více oblastech výroby dílů. Je to efektivní zhotovování komponent na mnoha úrovních, kde jsou kladeny stále vyšší nároky jednak na kvalitu, ale i čas a cenu. Při výrobě monopostu byla především dokázána technická vyspělost technologie. Dále je třeba zdůraznit, že celý proces tisku není nikterak složitý, proto lze i nadále očekávat rozmach této technologie.

7 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 Pohonná jednotka Mercedes Ilmor	13
Obr. 2.2 Porovnání monopostů Ferrari pro rok 2008 a 2009	13
Obr. 2.3 Znázornění změn na předním přítláčném křídle	16
Obr. 2.4 Změny na krytu motoru	17
Obr. 2.5 Změny difuzoru	18
Obr. 3.1: Vymodelovaný monopost Ferrari F60 2009.....	21
Obr. 3.2: Model dílu „nos“.....	21
Obr. 3.3: Základní průřez nosu	22
Obr. 3.4: Poměrné zaoblení dílu	23
Obr. 3.5: Zjednodušený díl sání s čepem pro kolo.....	25
Obr. 3.6: Skica profilů tyčí ke kolům.....	25
Obr. 3.8: Zrcadlení modelu nos	26
Obr. 4.1: Rapid prototyping tiskárna uPrint™	29
Obr. 5.1: Schéma etap tisku Rapid prototyping	30
Obr. 5.2: Načtený model Formule 1 v STL formátu - záložka General.....	31
Obr. 5.3: Orientace modelu při tisku.....	32
Obr. 5.4: Model s podpurným materiálem.....	33
Obr. 5.5: Stanovení polohy modelu na desku.	33
Obr. 5.6: Vytištěný model Ferrari F60 v pracovním prostoru tiskárny	34
Obr. 5.7: Model vnořený do chemické lázně	35
Obr. 5.8: Konečná podoba modelu Scuderia Ferrari F60	36

8 SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1. Technická data monopostu Ferrari F60	15
Tab. 4.1: Základní metody Rapid prototyping	27
Tab. 4.2: Základní materiály Rapid prototyping	28

9 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Fotografie Scuderia Ferrari F60

Příloha č. 2: Vytisknutý model formule 1 metodou rapid prototyping

10 POUŽITÉ ZDROJE

1. VLÁČILOVÁ, H., VILÍMKOVÁ, M., HENCL, L. ZÁKLADY PRÁCE V CAD SYSTÉMU SOLIDWORKS. 1. VYD. BRNO: COMPUTER PRESS, A.S., 2006. 319 s. ISBN 80-251-1314-0.
2. TREMAYNE, D. THE SCIENCE OF FORMULA ONE DESIGN. PUBLISHED BY HAYNES PUBLISHING, FIRST PUBLISHED IN JULY 2004, PP. 176. ISBN 9781844253401.
3. JACOBSON, D. M., RENNIE, A. E. W., BOCKING C. E. IN PROCEEDINGS OF THE 5TH NATIONAL CONFERENCE ON RAPID DESIGN, PROTOTYPING, AND MANUFACTURE. PROFESSIONAL ENGINEERING PUBLISHING, 2004, PP. 112. ISBN 1860584659.
4. TMS (The Minerals, Metals & Materials Society): Rapid Prototyping of Materials. The Minerals, Metals & Materials Society. 2002, pp. 615. ISBN 0873395301.
5. PÍŠA, Z., KEJDA, P., GÁLOVÁ, D. Rapid Prototyping in Mechanical Engineering. In Proceedings of the Abstracts 12th International Scientific Conference CO-MA-TECH 2004. Bratislava: STU, 2004. s. 160. ISBN 80-227-2121-2.
6. Aplikace technologie rapid prototyping. [online]. 2001 [cit. 20-10-2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/aplikace-technologieirapid-prototyping>>. ISSN 1212-2572.>
7. SEDLÁK, J., PÍŠA, Z. Rapid Prototyping master modelů pomocí CAD/CAM systémů. In Mezinárodní vědecká konference 2005. Ostrava: VŠB TU Ostrava, Fakulta strojní, 07.09.2005-09.09.2005. 30 s. ISBN: 80-248-0895-1.
8. MCAE Systems s.r.o. Česká republika. FDM TECHNOLOGIE pro rychlou výrobu modelů, prototypů a forem. [online]. [cit. 20-10-2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.mcae.cz/iecz.html>>.
9. FIA. <http://www.fia.com> [online]. 18-03-2009 [cit. 20-10-2010]. Dostupné na World Wide Web: <[http://argent.fia.com/web/fiapublic.nsf/7C4F8D883039AF6AC125757D00369C58/\\$FILE/1-2009_F1_TECHNICAL_REGULATIONS_Showing-Alterations_17-03-2009.pdf](http://argent.fia.com/web/fiapublic.nsf/7C4F8D883039AF6AC125757D00369C58/$FILE/1-2009_F1_TECHNICAL_REGULATIONS_Showing-Alterations_17-03-2009.pdf)>
10. www.wikipedia.org [online]. 10-12-2008 [cit. 24-10-2010]. Dostupné na World Wide Web: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Formule_1>

11. www.renaultf1team.estranky.cz [online]. 9-1-2008 [cit. 2-11-2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.renaultf1team.estranky.cz/clanky/aktualne/aerodynamika>>
12. www.f1technical.net [online]. [cit. 2-11-2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.f1technical.net/articles/4>>
13. www.f1technical.net [online]. [cit. 2-11-2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.f1technical.net/articles/1>>
14. www.wikipedia.org [online]. 4-5-2009 [cit. 5-12-2010]. Dostupné na World Wide Web: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Ferrari_F60>
15. www.f1fanatic.co.uk [online]. [cit. 5-12-2010]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.f1fanatic.co.uk/wp-content/uploads/2009/01/ferrari_f60_f2008_top.jpg>
16. www.f1news.cz[online]. 15-5-2009 [cit. 7-1-2011]. Dostupné na World Wide Web: <<http://f1news.cz/technika/31714-ferrari-f60-b-analyza/>>
17. www.wikipedia.org [online]. [cit. 3-4-2011]. Dostupné na World Wide Web: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Rapid_prototyping>
18. www.designtech.cz [online]. 15-2-2006 [cit. 4-4-2011]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.designtech.cz/c/it-reseni/tiskneme-ve-3d.htm>>
19. <http://www.hizone.info> [online]. [cit. 10-4-2011]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.hizone.info/i/Image/2009/01/29/02uPrint-3d-printer3-thumb-450x426.jpg>>
20. CatalystEX 4.0.1[®]. [online]. ©1991-2009 Stratasys Inc. Eden Prairie, MN. Všechna práva vyhrazena, 2009. [cit. 10-4-2011]. Dostupné z WWW: <<http://www.dimensionprinting.com/applications/rapid-prototyping.aspx>>.
21. www.f1-site.com[online]. [cit. 10-4-2011]. Dostupné na World Wide Web: http://mail.f1-site.com/f1-wallpaper/cars-wallpapers/523-presentation_formula_1_2009_launch_ferra