

Herní prvek

Richard Hladký

Bakalářská práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta multimediálních komunikací

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta multimediálních komunikací

Produktový design

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Richard Hladký**
Osobní číslo: **K16053**
Studijní program: **B8206 Výtvarná umění**
Studijní obor: **Multimédia a design – Produktový design**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Herní prvek**

Zásady pro vypracování

1. Rešerše inspiračních zdrojů vztahujících se k tématu práce
2. Vlastní analýza poznatků pro následnou práci s tématem
3. Variantní návrhy řešení
4. Postup zpracování vybrané varianty řešení

- a) teoretická část v rozsahu 25-30 normostran textu
- b) prototyp nebo funkční model nebo fyzický model v měřítku 1:1, 1:2, 1:3, 1:5, 1:10 podle charakteru projektu a konzultace s vedoucím práce
- c) grafická prezentace v rozsahu minimálně 2,8 m²



Rozsah bakalářské práce: viz Zásady pro vypracování
Rozsah příloh: viz Zásady pro vypracování
Forma zpracování bakalářské práce: Tištěná/elektronická

Seznam doporučené literatury:

KOLESÁR, Zdeno. Kapitoly z dějin designu. V Praze: Vysoká škola umělecko-průmyslová, 2004. ISBN 80-86863-03-4.
KATZ, Joseph. Race car aerodynamics: designing for speed. Cambridge, MA, USA: R. Bentley, c1995. ISBN 0837601428.
DÁNIEL, Ondřej. Kultura svépomocí: ekonomické a politické rozměry v českém subkulturním prostředí pozdního státního socialismu a postsocialismu. Praha: Filozofická fakulta Univerzity Karlovy, 2016. ISBN 978-80-7308-706-7.
KRATOCHVÍLOVÁ, Jitka. 3D tisk. Přeložil Petra MILLAROVÁ. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2015. ISBN 978-80-7414-936-8.

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Art. Ivan Pecháček**
Produktový design

Datum zadání bakalářské práce: **2. prosince 2019**
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. května 2020**

doc. Mgr. Irena Armutidisová
děkanka



M. A. Vladimír Kovařík
vedoucí ateliéru

Ve Zlíně dne 2. prosince 2019

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ / DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- bakalářská/diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou/diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou/diplomovou práci - nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské/diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské/diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské/diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že:

- jsem na bakalářské/diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně dne: 16. 6. 2020.....

Jméno a příjmení studenta: Richard Hladký.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce mapuje vznik projektu modulárně přizpůsobitelného modelu dálkově řízeného auta, který je možné vytisknout na domácí 3D tiskárně, s použitím jen běžně dostupných dílů. Cílovou skupinou tohoto produktu jsou zkušenější modeláři, kteří hledají zábavu a tento produkt jim nabízí možnost odreagování.

Hlavním výstupem této práce je prototyp RC modelu auta, s maketami více designových variant. Současně výstup tvoří samotné 3D tiskové data nezbytné pro tisk modelu. K projektu jsem vytvořil i jednoduchý návod popisující zkompletování modelu.

V teoretické části rozebírám na základě rešerše problematiku RC modelů, jejich specifikace. Dále se rozepisuji jak o softwarových, tak i hardwarových nástrojích, které jsem ke své práci použil, popisuji, proč byli pro můj projekt důležité, a jak mi pomohli vytvořit výsledný produkt.

Následně v praktické části přibližuji svůj postup práce. Jakým způsobem jsem k problematice přistoupil. Zmiňuji problémy, na které jsem v průběhu narazil, způsoby, jakým jsem je vyřešil. A jejím závěrem je finální produkt ve výsledném měřítku 1:18.

Klíčové slova: 3D tisk, RC model, DIY, Modulární systém, Auto, Blender

ABSTRACT

This bachelor thesis maps to the creation of a project of a modular adaptable model of a remote controlled car, which can be printed on a home 3D printer, using only commonly available parts. The target group of this product is more experienced modellers who are looking for fun and this product offers them the opportunity to relax.

The main output is a prototype RC model car, with models of several design variants. The current outputs form 3D print data for printing the model. I also created a simple guide, which describes how to assemble the model.

In the theoretical part I analyze RC models and their specifications based on my own research. I also describe the software and hardware tools that I used for my work, describe why they were important for my project, and how they helped me create the final product.

Subsequently, in the practical part, I describe my work process. How did I approach the issue of 3D printing. I mention the problems I came across during the ways, the ways I solved them. And its conclusion is the final product in the final scale of 1:18.

Keywords: 3D printing, RC model, DIY, Modular system, Auto, Blender

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce MgA. Ivanovi Pecháčkovi, za odborné rady, trefné postřehy a pomoc se směřováním mé práce. Dále bych chtěl poděkovat všem tvůrcům softwarových i hardwarových nástrojů, které jsem při práci použil především všem Open source komunitám.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 DEFINICE RC MODELU	11
1.1 GEOMETRIE TRUGGY.....	11
1.2 BĚŽNÁ KONSTRUKCE RC MODELU	11
1.3 STAVEBNÍ SOUČÁSTI RC MODELU AUTA	12
1.3.1 Motor.....	12
1.3.2 Elektrický regulátor otáček	12
1.3.3 Akumulátor	12
1.3.4 Servomotor.....	12
1.3.5 Rádio a přijímač	13
1.3.6 Ložiska	13
1.3.7 Olejové tlumiče kmitů.....	13
1.3.8 Pneumatiky.....	13
2 OPENRC	15
3 POUŽITÉ NÁSTROJE 3D TISKU	16
3.1 3D TISKÁRNA PRUSA I3 MK2S	16
3.2 ORIENTACE VRSTEV	17
3.3 PRŮMĚR TRYSKY	17
3.4 VÝŠKA VRSTVY	18
3.5 TISK PODPOR	18
4 POUŽITÉ SOFTWARE NÁSTROJE	20
4.1 BLENDER.....	20
4.2 OTVINTA	21
4.3 PRUSA SLICER.....	22
4.4 AUTODESK FLOW DESIGN	23
II PRAKTICKÁ ČÁST	24
5 NOVÉ ZPŮSOBY NAVRHOVÁNÍ TVARŮ	25
6 MATERIÁLOVÁ ZKOUŠKA FILAMENTŮ	30
6.1 PLA	30
6.2 PETG.....	30
6.3 CPE.....	31
6.4 ABS	32
6.5 ASA.....	32
6.6 FLEXFILL 98A.....	32

7	MATERIÁLOVÁ ZKOUŠKA MECHANICKÝCH DÍLŮ	33
7.1	SLEPÁ VÝVOJOVÁ VĚTEV.....	33
7.2	KULOVÉ KLOUBY	34
7.3	PRUŽNÁPRAV	34
7.4	POHONNÉ ÚSTROJÍ.....	35
7.4.1	Diferenciál.....	36
7.4.2	Olejoyé tlumiče kmitů.....	37
7.5	POLOOSY.....	37
7.6	UCHYCENÍ MOTORU	38
7.7	UCHYCENÍ AKUMULÁTORU	39
7.8	ZNAČENÍ VERZE DÍLU	39
III	PROJEKTOVÁ ČÁST	40
8	MĚŘÍTKO MODELU	41
9	ODHADOVANÁ CENA MODELU	42
10	MODULÁRNÍ DESIGN	43
11	CÍLOVÁ SKUPINA	46
12	PREZENTACE.....	47
	ZÁVĚR	48
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	49
	SEZNAM OBRÁZKŮ	51
	SEZNAM PŘÍLOH.....	52

ÚVOD

Na začátek bych rád zmínil, že ve světě RC modelů aut se pohybují již přibližně deset let. Dvě zimní sezony jsem se účastnil halových závodů v kategorii Elektro 4WD ONROAD v měřítku 1:18. Můžu tak říci, že mám v tomto oboru již nemalou zkušenost. Vždy mě lákalo navrhnout vlastní model s mým autorským designem, párkrát jsem se o to již v minulosti pokusil, Většina pokusů však skončila jen u skic. V mém druhém ročníku na střední škole jsem se začal učit v 3D softwaru Blender, což mi pomohlo posunout mé návrhy na vyšší úroveň. Navrhl jsem tehdy model v měřítku 1:24, který jsem posunul až do fáze výroby nicméně chvíli před dokončením jsem narazil na technické problémy, které jsem tehdy nebyl schopen s mými zkušenostmi vyřešit.

S příchodem na Univerzitu jsem se seznámil s technologií 3D tisku, která mě velmi zaujala. Fascinovala mě její univerzálnost, čistota výroby, a možnost velmi jednoduše vyrobit libovolné díly dle vlastního návrhu. Již v prvním ročníku jsem začal postupně navrhovat nový design RC auta, který jsem nově již odpočátku zamýšlel vyrábět kompletně na 3D tisku. Prvně jsem navrhl a posléze nechal vytisknout některé díly, abych si ověřil, že je podobný projekt vůbec realizovatelný. Později, když jsem se musel rozhodnout, co si zvolím jako svou závěrečnou práci, došel jsem k závěru, že bych mohl dokončit tento můj dlouholetý projekt. Musím přiznat, že jsem od začátku věděl, že tento projekt bude náročný. Rozhodl jsem se totiž, že kromě designové části modelu budu designovat i celou mechanickou část. Což znamenalo, že bude potřeba vymyslet a vyřešit nespočet překážek. Celý projekt je dle mého názoru dost komplexní, kdy je mnoho designových prvků propojené s těmi funkčními. Bylo mi tak zřejmé, že budu muset projektu věnovat mnoho času.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DEFINICE RC MODELU

RC model (z anglické zkratky Remoted Controlled) jsou zmenšené modely vozidel ovládané zapomoci rádiových vln. Tyto modely jsou zpravidla poháněné elektrickým, popřípadě spalovacím motorem. Ačkoliv se může zdát, že tento typ hračky je určen především pro děti, tak mnoho modelů je určené výhradně pro zkušenější a starší uživatele. Cena dražších modelů jsou nezdědka kdy v řádech desítek tisíc.

1.1 Geometrie TRUGGY

Pro svůj projekt jsem zvolil menší měřítko 1:18, jelikož je praktičtější pro tisk na 3D tiskárně. Toto měřítko se používá při ježdění v halách, popřípadě pro jízdu venku, kde je ovšem vhodnější terénní model, jelikož české silnice pro ONROAD modely 1:18 nejsou většinou dostatečně rovné. Z tohoto důvodu jsem si zvolil jako primární výstup kategorii TRUGGY (z anglické složeniny Monster Truck a Buggy), která kombinuje velká kola s nízkým těžištěm a sportovním podvozkem. Z vlastní zkušenosti jsem věděl, že TRUGGY 1:18 je pro rekreační ježdění v běžně dostupném terénu, např ulice, zahrada vhodná, jelikož jsem jeden model (Xray X18T), ze stejné kategorie vlastnil.

1.2 Běžná konstrukce RC modelu

Obvykle se RC modely aut sestávají ze dvou hlavních částí. Základ modelu tvoří podvozek. Obvykle je tvořen tenkou deskou vyrobenou z duralu, nebo plastu, často ztuženém skelnými vlákny. Na tuto desku jsou poté upevněné všechny důležité mechanické součásti. Druhou částí modelu je tenká skořápka karoserie, obvykle vyrobená vakuováním z Lexanu. Tato karoserie sedí na podvozku nejčastěji na čtyřech sloupcích a pojištěna závlačkami. Výhodou tohoto řešení jsou nízké těžiště, celkově nízká váha v poměru k povrchu karoserie a relativně snadná průmyslová výroba. Nevýhodou je nízká tuhost konstrukce, která je náchylná ke kroucení, proto bývá zpevněná výztuhami.



Obrázek 1 Lexanová karoserie

1.3 Stavební součásti RC modelu auta

1.3.1 Motor

V mé práci navrhuji model poháněný elektromotorem. Předpokládám použití novějšího typu bezkartáčového elektromotoru. Tento motor neobsahuje komutátor, ale je řízen elektronickým regulátorem. Svým principem spadá do kategorie střídavých trojfázových asynchronních elektromotorů. Maximální špičkový výkon motorů pro měřítko 1:18 je okolo 200 W.

1.3.2 Elektrický regulátor otáček

Jak jsem již zmínil výše, elektromotor pracuje s třífázovým proudem. Regulátor převádí stejnosměrný proud z baterie na třífázový, přičemž modifikuje jak frekvenci střídavy, tak napětí. Řídí tak otáčky motoru. Jelikož musí regulátor přenášet velké proudy, je zpravidla vybaven velkým chladičem.

1.3.3 Akumulátor

Většina dnešních modelů již využívá novějšího typu Li-Po (z anglického Lithium-Polymer) akumulátoru. Tyto akumulátory mají vysokou energetickou hustotu a jsou schopné dodávat vysoké proudy, V měřítku 1:18 se proudové špičky pohybují v desítkách Ampér. Menší modely nejčastěji využívají dvojčlánek, jehož nominální napětí je 8.4 Voltu.

1.3.4 Servomotor

Pro ovládání zatáčení je v modelu umístěný servomotor. Ten má podobu uzavřené krabičky s pákou. Tato páka se na základě signálu z přijímače vychyluje do stran, přičemž řídicí elektronika neustále kontroluje polohu pomocí senzoru.

1.3.5 Rádio a přijímač

Pro ovládání modelů aut se zpravidla používají pistolové rádia, operující na frekvencích 2.4 GHz. Tyto rádia mají tvar podobný pistolí, která se drží obvykle levou rukou. Levý ukazováček ovládá páčku plynu, pravá ruka ovládá malý volant, který se nachází na pravé straně těla ovladače. Rádio komunikuje s malým přijímačem, který se nachází v modelu.

1.3.6 Ložiska

Rotační díly, jakými jsou všechny osy, poloosy a ozubení jsou v RC modelech uchycené v kuličkových ložiskách. Tento typ valivého ložiska je levný pro výrobu, je schopný přenášet radiální i axiální síly a jejich vlastnosti jsou pro potřeby menších RC modelů zcela dostatečné. Většinou se používají kuličková celokovová ložiska, často opatřená kovovou, nebo umělohmotnou prachovkou omezující vnikání nečistot do vnitřního prostoru ložiska.

1.3.7 Olejové tlumiče kmitů

Podobně jak velké auta, tak i RC modely aut jsou vybavené tzv. olejovým tlumičem kmitů. Toto zařízení využívá zvyšujícího se hydrodynamického odporu proudícího oleje při vyšší rychlosti způsobené změnou laminárního proudění na proudění turbulentní. Tento tlumič se umísťuje v tandemu s pružícím prvkem na nápravu. Jeho účelem je omezit kmity, ke kterým v průběhu pružení dochází. Názorně je možné toto vysvětlit na přejezd terénní nerovnosti. Po jejím přejezdu se celý model zhoupne. Pokud by nebyl vybaven tlumičem, tak by tento houpavý pohyb přetrvával, a zhoršoval by tak jízdní vlastnosti. Extrémní situací by například bylo, kdyby při dopadu po skoku došlo k tak velkému zhrounutí, že by model znovu nadskočil.

1.3.8 Pneumatiky

Pneumatiky pro RC modely se vyrábějí dvojího typu. Pro silniční a kobercové povrchy se používají tzv. mechové obutí. To je tvořené pevnou homogenní pěnou nalepenou na ráfku kola. Pro jízdu v terénu se používají pneumatiky z vulkanizované gumy. Tyto pláště jsou nalepené na ráfku a vnitřní prostor je vyplněn vložkou toroidního tvaru vyrobené z pěnové hmoty, která zajišťuje dobré rozložení váhy a adheze a ve své podstatě plní obdobnou funkci jako stlačený vzduch v reálných autech.

V době tvorby mého projektu neexistoval filament, který by dosahoval podobné adheze jako vulkanické hmoty, proto jsem se ve svém projektu nezabýval možností tištění pneumatik, a počítal jsem od počátku s jejich nákupem.

2 OPENRC

Už před stanovením základních parametrů mého bakalářského projektu jsem věděl o existenci Open Source projektu OpenRC. Tento projekt založil v roce 2013 Daniel Norée, původně jako ukázkou svých schopností v oboru 3D tisku. V rámci projektu navrhl několik RC modelů tisknutelných na tehdy se rozmáhajících 3D tiskárnách, mezi nimi také model auta kategorie TRUGGY v měřítku 1:10. Jeho práce měla v komunitě 3D tisku velký ohlas. Proto svůj projekt zpřístupnil na sociální platformě Google+ kde ho společně s komunitou nadále vyvíjel a postupně přidával nové modely. V roce 2018 ukončil Google tuto platformu, nicméně projekt OpenRC je dnes přístupný na mnoha dalších platformách zabývajících se 3D tiskem, například www.thingiverse.com, nebo www.sketchfab.com.

Tímto projektem jsem se pak ve své práci inspiroval. Prozkoumal jsem způsob, jakým k návrhu Daniel přistoupil. Jak se pokusil vyřešit slabiny 3D tisku, využít jeho přednosti. Nabral jsem tak prvotní směr a získal jsem tak rámcovou představu, jak bych chtěl směřovat svůj projekt.

3 POUŽITÉ NÁSTROJE 3D TISKU

3.1 3D tiskárna Prusa i3 mk2s

Pro potřeby své bakalářské práce jsem zakoupil 3D tiskárnu Prusa i3 mk3s. Tuto tiskárnu vyvíjí česká firma Josefa Průši v Praze. Jeho tiskárny se každoročně umisťují na nejvyšších příčkách celosvětových žebříčků nejlepších tiskáren v Hobby kategorii FDM tisku. Cena této tiskárny je přibližně 22 000 Kč. Tato tiskárna funguje na principu FDM tisku (z anglické zkratky Fused Deposition Modeling). Princip tisku spočívá v protlačování roztavené struny z termoplastu (polymeru, který po zahřátí zkapalní) v tenké vrstvě na tiskovou podložku, kde se za pomoci přesného pohybu počítačem řízené tiskové trysky tvoří 3D prostorový objekt. Výhody této technologie jsou především velká univerzálnost, kdy je možné vytvořit díly téměř libovolného tvaru. Druhou významnou výhodou je jednoduchost celého procesu. Schopný uživatel vytvoří 3D model v počítačovém programu, ten se poté jen nahraje do tiskárny a ta jej sama vytiskne. Digitální 3D model lze snadno upravovat, sdílet, postupně vyvíjet. Poslední velkou výhodou je čistota procesu, kdy vzniká minimum odpadu, a proces tisku lze provádět i přímo uvnitř obytných místností. Značnou nevýhodou této technologie je menší výrobní přesnost, velmi dlouhé tisky modelů, obvykle v řádu hodin, velké modely i řádu desítek hodin. Poslední výraznou nevýhodou je omezený výběr materiálů, kdy je možné použít jen termoplasty. Cena výtisku se orientačně pohybuje kolem 1 Kč za 1 cm³, což činí 3D tisk levnou a dostupnou technologií.



Obrázek 2 3D tiskárna Průša i3 mk3s

3.2 Orientace vrstev

Jelikož tiskárna tiskne objekt postupně, po vrstvách, má objekt v řezu odlišnou strukturu. V první řadě jsou na povrchu vrstvy patrné okem, proto je vhodné objekt umístit tak aby jejich textura nekazila výsledný dojem. Druhou a pro mou práci důležitější vlastností je, že 3D tisk je v lomu napříč vrstvami pevnější, než v lomu po vrstvách. Zjednodušeně si lze tuto problematiku ilustrovat na tenké osce. Pokud bude tištěná horizontálně, bude velmi odolná proti zlomení, pokud ji ovšem vytiskneme vertikálně, vlivem nižší soudržnosti vrstev ji bude mnohem snazší zlomit. Tento jev lze částečně kompenzovat zvolením mírně vyšší teploty při tisku za cenu méně pohledného povrchu. Rovněž mají některé materiály vyšší soudržnost vrstev než materiály jiné.

3.3 Průměr trysky

Většina hobby 3D tiskáren protlačuje tiskovou strunu tryskou o průměru 0.4mm. Tento průměr je odzkoušený jako univerzální pro většinu tisků, avšak někdy uživatel potřebuje méně obvyklý tisk, nebo odlišné vlastnosti. Většinou lze tak tato tryska zaměnit za jinou. Běžně jsou k dispozici průměry od 0.2mm po 1mm. Vyšší trysky umožňují tisknout vyšší vrstvy. Výška vrstvy by měla být maximálně cca 80% průměru trysky.

Další výhodou použití větších trysek je zvýšená odolnost výtisků. Při testu rázové houževnatosti absorbovaly výtisky z 0.6mm trysky v průměru o 25.6 % více energie než s tryskou 0.4 mm. S tryskou 0.25 mm naopak o 3.6 % méně.

(Vše o tryskách s různým průměrem - Prusa Printers. Prusa Printers - Official Prusa 3D printers community [online]. Copyright © Prusa Research a.s. [cit. 09.08.2020]. Dostupné z: https://blog.prusaprinters.org/cs/vse-o-tryskach-s-ruzny-m-prumerem_34009/)



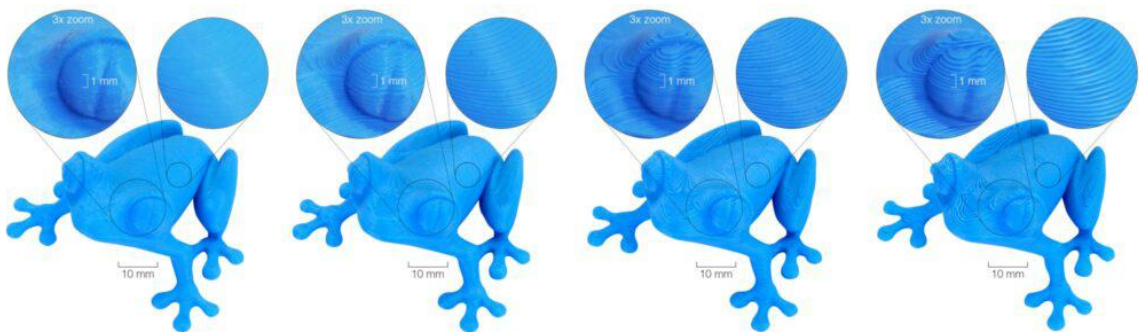
Obrázek 3 Trysky s rozdílným průměrem

3.4 Výška vrstvy

Výběrem vyšších výšek vrstev můžete výrazně zkrátit dobu tisku za cenu viditelnějších vrstev. Na druhou stranu, výběr malé výšky vrstvy (např. 0,10 mm) povede k zobrazení lepších detailů za cenu delší doby tisku.

(Prusa Knowledge Base. Prusa Knowledge Base [online]. Dostupné z:
https://help.prusa3d.com/cs/article/vrstvy-a-perimetry_5929)

Výška vrstvy je parametr, který se výrazným významem podílí na času a vizuální kvalitě tisku. Dle názorů jiných tiskařů jsou díly tištěné s vyšší vrstvou pevnější, nicméně moje testy tuto tezi nepotvrdily. V mém modelu jsem použil menší výšku vrstev u tisku detailních dílů, jakým jsou třeba kulové klouby, nebo soukolí, naopak části jako aerodynamické plochy jsem tiskl s výškou 0.4mm.

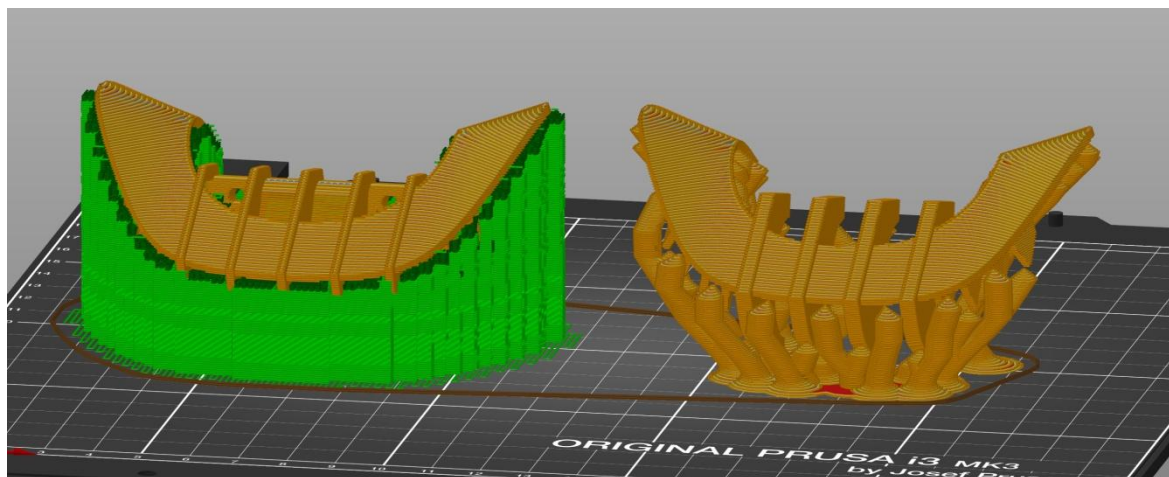


Obrázek 4 stejný objekt tištěný s rozdílnou výškou vrstvy

3.5 Tisk podpor

FDM 3D tiskárny pokládají objekty po vrstvách. Pokud se objekt směrem vzhůru rozšiřuje, tiskárna by tak musela tisknout do prázdného prostoru, což z principu není možné. Maximální úhel převisu, který je ještě možné bez problémů vytisknout je přibližně 45°. Větší úhly převisu, nebo objekty, které začínají až nad tiskovou plochou je tak potřeba podepřít tzv. podporami. Ty lze připodobnit malému lešení, které dokáže slicer generovat automaticky, na které může tiskárna položit vrstvu. Podpora je potřeba po vytištění z modelu ručně odstranit, což je nezřídka kdy pracné, a často to na objektu zanechá stopy. Dle návodu Průši jsem vyzkoušel stromové podpory generované z 3D softwaru

Meshmixer. Tyto podpory v některých případech spotřebují méně materiálu, zrychlí tisk, a snáze se odstraňují. Nejlepší je však na tento problém myslet již při návrhu objektu a převisům se pokud možno vyhnout.



Obrázek 5 Vlevo Prusa Slicer podpory, vpravo Meshmixer podpory

4 POUŽITÉ SOFTWARE NÁSTROJE

4.1 Blender

Počítačový software Blender vznikl v roce 1995 původně jako program pro 3D animaci, který si pro své vlastní potřeby vyvíjelo holandské animační studio Tona Roosendaala: NeoGeo. Vývoj softwaru v roce 1998 přešlo pod nově vzniklé studio NaN, nicméně to později v roce 2002 zkrachovalo. Proto byl Blender v tomto roce převeden pod Open Source licenci nově vzniklé nadace Blender Foundation. Od té doby je Blender nadále vyvíjet pod Open Source licenci, která zajišťuje jeho bezplatné použití jak pro soukromé tak i pro komerční účely. V průběhu času se Blender rozrostl o nespočet dalších funkcí a tak z původně animačního nástroje vznikl mnohoúčelový program, který kromě animace používá od modelování, přes renderování, střihání videí či fyzikální simulace až po ovládání CNC strojů.

Mesh vs NURBS

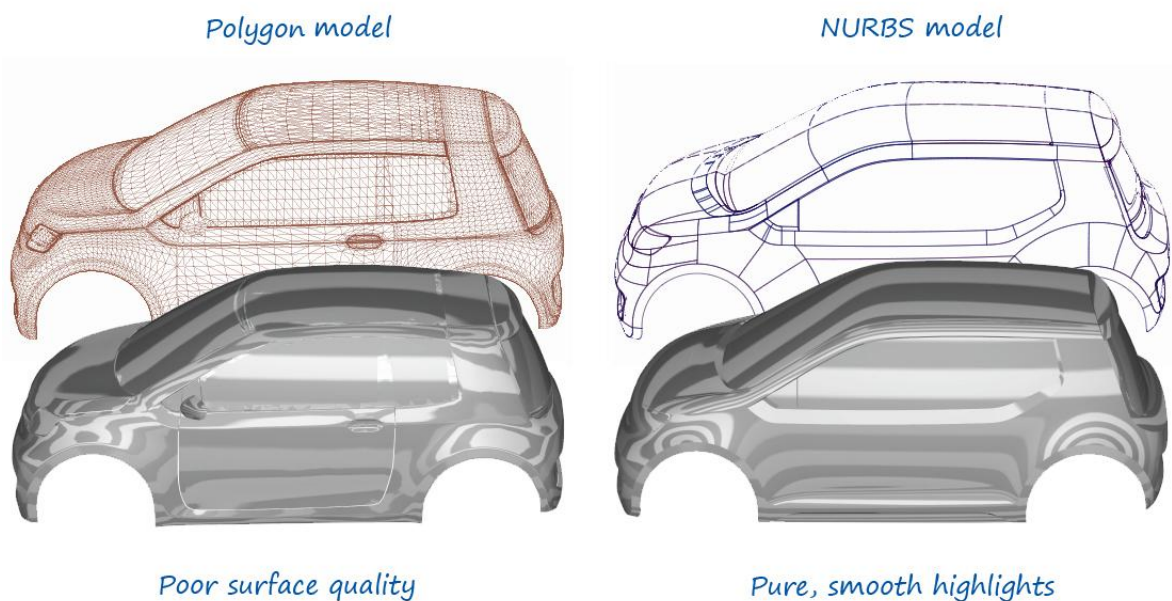
Jak jsem již zmínil výše, Blender nadále zůstává primárně softwarem pro tvorbu 3D animací. To s sebou nese pochopitelně komplikace při použití v produktovém designu. Oproti softwarům, které studenti i profesionálové v branži běžně používají, jako jsou Rhinoceros 3D, nebo například Fusion 360 od Autodesku, nepracuje primárně Blender v matematickém modelu NURBS křivek.

NURBS (Non-uniform rational basis spline) křivky jsou matematickým modelem pro přesné zaznamenání nepravidelného 3D tvaru při práci na počítači. Tento model je založený na tzv. Beziérových křivkách které definoval někdejší inženýr automobilky Renault Pierre Bézier. S tímto modelem v zásadě pracují všechny programy určené pro produktový design, jako jsou již zmíněné Rhinoceros 3D, programy od firmy Autodesk či Solid Works.

Oproti tomu programy zaměřené na 3D animaci a počítačovou grafiku obecně pracují téměř výhradně s tzv. Mesh sítí. To znamená, že veškeré 3D plochy jsou definované pomocí jednotlivých bodů, které jsou spojené linkami do trojúhelníkových ploch.

Hlavní rozdíl tedy spočívá v tom, že zakřivená plocha je v Blenderu vždy jen mnohostěn (polygon), a při větším přiblížení, popřípadě zvětšení objektu můžete zpozorovat jednotlivé zalomení ploch. Taktéž některé operace, typicky při změně poloměru zaoblení hrany stačí v programech založených na NURBS systému jen upravit číselný parametr, zatímco v Blenderu vás čeká často hodně manuální práce, neřídka kdy s nutností ručně doladit detaily. Pro změnu vytvářet organické tvary, jako například postavy, či rostliny je v NURBS programech velmi obtížný, často až nereálný úkol.

Na základě výše popsaného je zřejmé, že Blender má konkrétně pro můj bakalářský projekt značné limity. Přesto jsem si jej (po pár pokusech ve zmíněném Fusionu 360 ve studentské licenci) zvolil jako můj hlavní nástroj pro tvorbu modelu, jelikož ho používám aktivně již sedm let. Ovládám tak díky této mnohaleté zkušenosti mnoho rozšiřujících funkcí, které mi velmi usnadnili a zrychlili mou práci.



Obrázek 6 Porovnání Mesh Polygonu s NURBS modelem

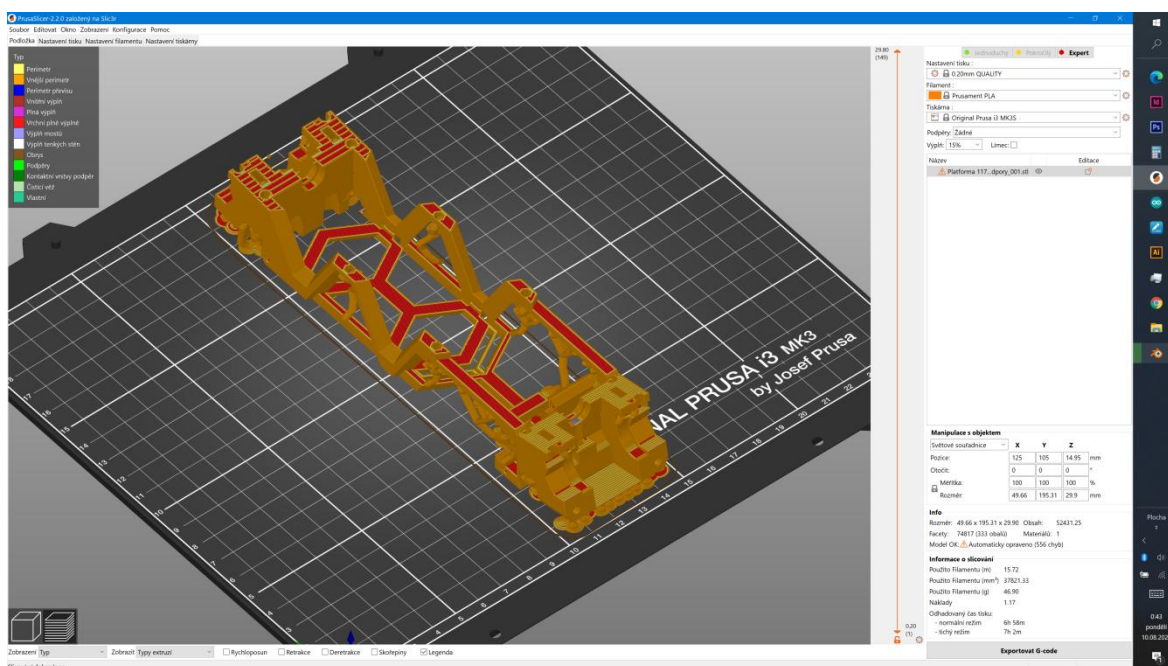
4.2 Otvinta

Udělal jsem si rešerši ohledně tvorby ozubených kol. Pro Blender existuje nespočet Pluginů a jsou mezi nimi i ty zaměřené na tvorbu ozubených kol. Všechny, které jsem

objevil se, ale zaměřovali pouze na přímé ozubení, popřípadě ozubení kuželové. V případě potřeby by bylo možné je ručně upravit na ozubení šikmé, či šípové. Objevil jsem však internetový projekt www.otvinta.com. Jedná se o online soubor scriptů a pro ně vytvořených návodů. Pomocí Otvinty je možné pro Blender vygenerovat mnoho typů ozubených soukolí.

4.3 Prusa slicer

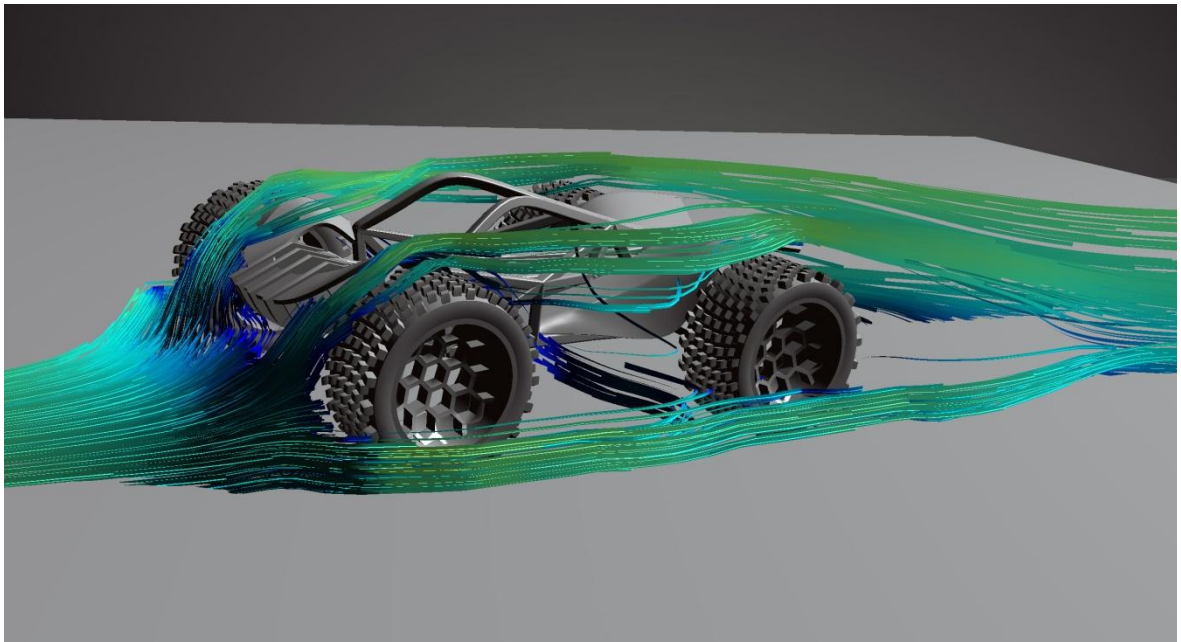
3D tiskárny pracují s tzv. G-codem. Ve své podstatě jde textový soubor, který postupně popisuje všechny body v prostoru, kterými musí tisková hlava projet, zároveň nese informace o teplotě, množství vytlačeného materiálu apod. K vytvoření G-codu z 3D objektu je potřeba slicovací program. Já osobně používám Prusa Slicer, vyvíjený přímo firmou Josefa Průši. 3D model objektu zamýšleného k vytištění je třeba do sliceru nahrát v souboru ve formátu .stl, popřípadě jiné podporované 3D formáty. Zde si pak může uživatel nastavit parametry tisku (blíže je rozeberu níže), čímž může ovlivnit vlastnosti tisku.



Obrázek 7 Prusa Slicer

4.4 Autodesk Flow Design

Svůj projekt jsem se snažil navrhnout jako komplexní celek, který pohlíží na model auta ze všech stran. Proto jsem při hledání tvarů pro svůj model vycházel nejen z estetického cítění, ale také jsem pomýšlel na aerodynamický profil výsledného vozidla. Pro tento záměr jsem použil studentskou licenci počítačového programu Autodesk Flow Design, který simuluje větrný tunel. Zde si může uživatel přiblížit, jak bude kolem nahaného objektu při určitých rychlostech proudit vzduch. Tento program jsem primárně použil pro ověření činnosti mnou navržených aerodynamických ploch.

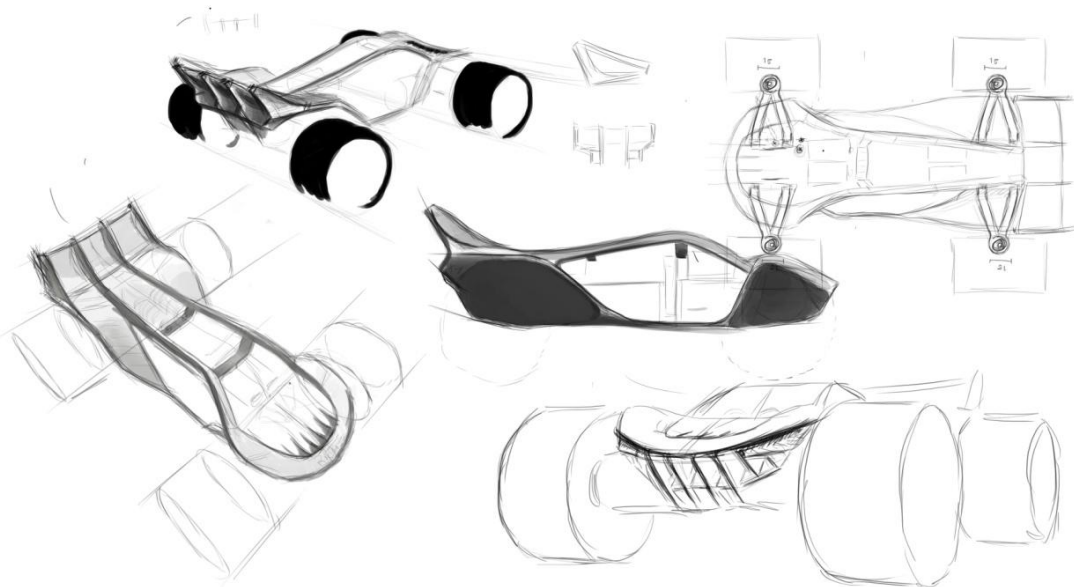


Obrázek 8 Náhled aerodynamického tunelu

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 NOVÉ ZPŮSOBY NAVRHOVÁNÍ TVARŮ

Během posledních let mé tvůrčí činnosti jsem hledal lepší způsob jak navrhnout prostorový tvar. Doposud jsem volil poněkud obvyklý postup: Vytvořit několik, často desítek, rychlých na sobě nezávislých skic. To mi pomůže vytvořit odrazový můstek. Následně jsem si vybral pár z nich, které mě zaujaly, a viděl jsem u nich potenciál, který by stál za to rozvinout. Ke každé z nich jsem vytvořil větší, propracovanější návrh nejčastěji od jedné do třech větších skic. Opět jsem zhodnotil můj výběr a vybral jeden finální návrh. K němu jsem v případě potřeby rozkreslil několik detailů. Finální částí bylo vymodelovat celý objekt v 3D softwaru. Občas jsem si pomáhal tak, že jsem si rozkreslil jednoduchý bokorys, půdorys a nárys. Ty jsem poté přeskenoval do počítače, zjistil jsem že je zcela postačuje návrhy vyfotit webovou kamerou počítače. Výsledná kvalita je dostatečná na překreslení do 3D. Doladění detailů modelu jsem často prováděl až v 3D programu, kde jsem si mohl lépe uvědomit kontext prostoru. Tento způsob navrhování jsem sice používal dlouhodobě, ale nebyl jsem s ním plně spokojen. Při skicování na papír (používal jsem nejčastěji pentelku a tužky, časem jsem přikoupil i speciální grafické fixy značky Copic) jsem se nikdy nenaučil dobře pracovat s 3D prostorem. Základní geometrické tvarování jsem dokázal načrtnout ještě poměrně věrohodně, ale když jsem potřeboval pracovat s různě tvarovanými zakřivenými plochami, tak jsem je již nedokázal jasně zachytit na papír.



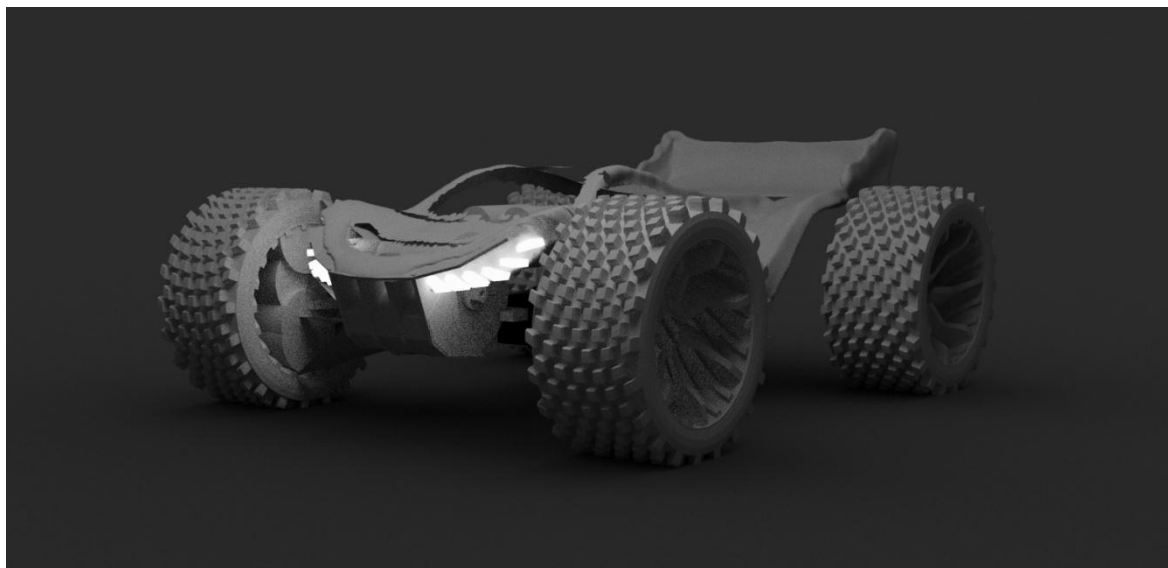
Obrázek 9 Digitální skici

Při hledání řešení jsem objevil 3D software Sculptris vyvíjený firmou Pixologic. Sculptris je ve své podstatě jen demo verzi profesionálního programu Zbrush od stejného vývojáře ořezanou jen na zcela základní funkce. Tyto programy jsou určeny pro tvorbu modelů primárně pro potřeby animace a počítačových her. Při modelování v těchto programech lze sice použít obyčejnou počítačovou myš, nicméně je to velmi neergonomické a je tak prakticky nutností použít tzv. grafický tablet.



Obrázek 10 Grafický tablet Huion Canvas PRO 12

Grafický tablet je vstupní zařízení tvořené dvěma částmi: Stylusem, neboli digitálním perem, kterým lze kreslit či psát na podložku s aktivní plochou, která pohyb zaznamenává a přenáší obdobně jako myš do počítače, u dražších modelů je pod aktivní vrstvou vestavěn i displej. Modelování v těchto programech je možné připodobnit digitální práci s keramickou hlinou. Do základního objektu ve tvaru koule se kreslí pomocí různých nástrojů a upravuje se tak její tvar. Oproti modelování pomocí myši je tento způsob více intuitivní a umožnil mi více si s tvarem hrát a rychleji zkoušet nové možnosti.

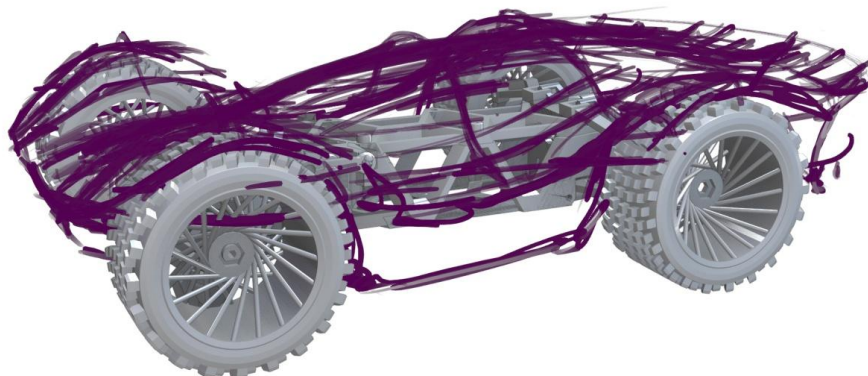


Obrázek 11 Rychlý náhled rámu vymodelovaný v Sculptrisu

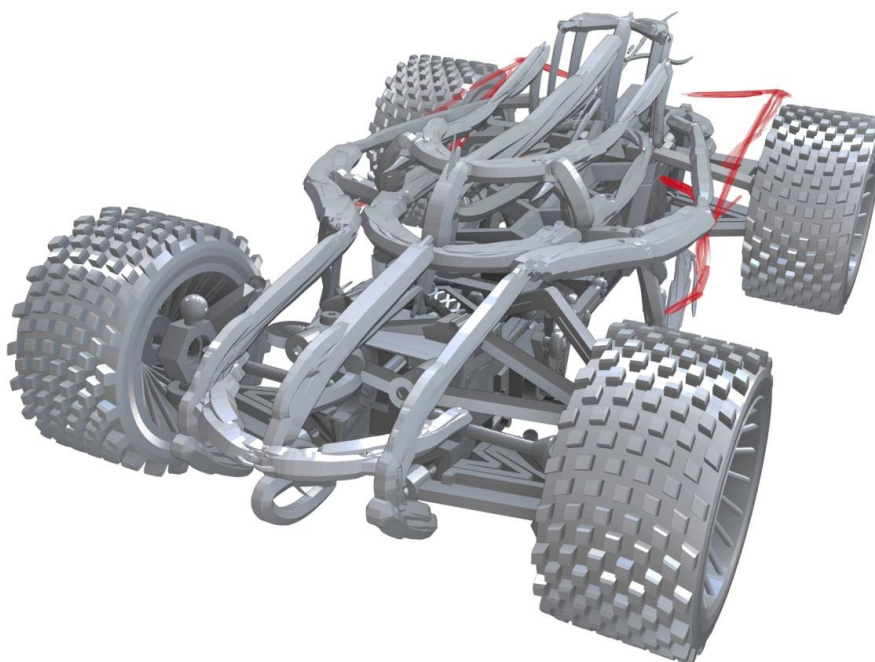
Během rešerše jsem objevil ještě jeden nový způsob intuitivní práce s virtuálním prostorovým objektem. Jak jsem již psal výše, jako hlavní pracovní nástroj jsem si zvolil software Blender. Pro tento software vytvořil Jama Jurabaev videonávod, který jsem si pro potřeby mého projektu zakoupil a kde vysvětluje nový způsob kresby přímo v 3D prostoru.

Jama Jurabaev pracuje jako konceptuální umělec pro filmový a videoherní herní průmysl. 3D software Blender využívá při své práci pro tvorbu rychlého náhledu 3D scény, strojů a mimo jiné také vozidel. Jeho způsob práce s nástrojem Grease pencil, který vysvětlil ve videonávodu lze v krátkosti popsat jako přímou kresbu pomocí grafického tabletu do 3D prostoru blenderu. Tato kresba lze poté pomocí pokročilejších funkcí a troše manuální práce převést na 3D objekty. Největším problémem tohoto způsobu je vytvoření 3D kresby z 2D vstupního zařízení. Vyzkoušel jsem si více způsobů, které Jama zmínil. Nejlépe se mi pracovalo s rovinou kresbou, která se promítá do prostoru v závislosti od úhlu pohledu do scény. Prostorovosti se poté dosáhne postupným dokreslováním dalších linií z jiných úhlů. Je důležité zmínit, že takto vytvořený model ani po zmíněném převedení na 3D mesh, není použitelný pro 3D tisk. Především je problém v geometrické nepřesnosti a drobných detailech. Je tak stále nezbytné celý objekt, či součástku přemodelovat již tradičně za použití myši a klasických nástrojů. Navzdory tomuto nedostatku byl tento nástroj velkým pomocníkem při navrhování různých designových variant. Dříve mi vytvořit ucelený

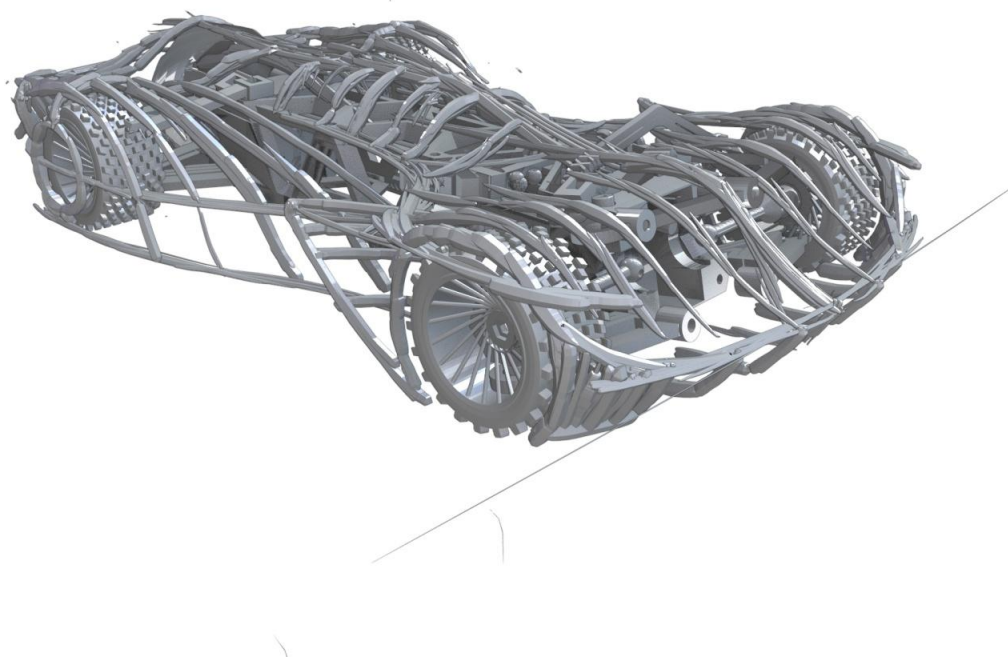
designový návrh s možností dostatečně kvalitního renderu trvalo většinou celý den, nově jsem byl schopen za stejný čas vytvořit podobně detailních návrhů hned několik.



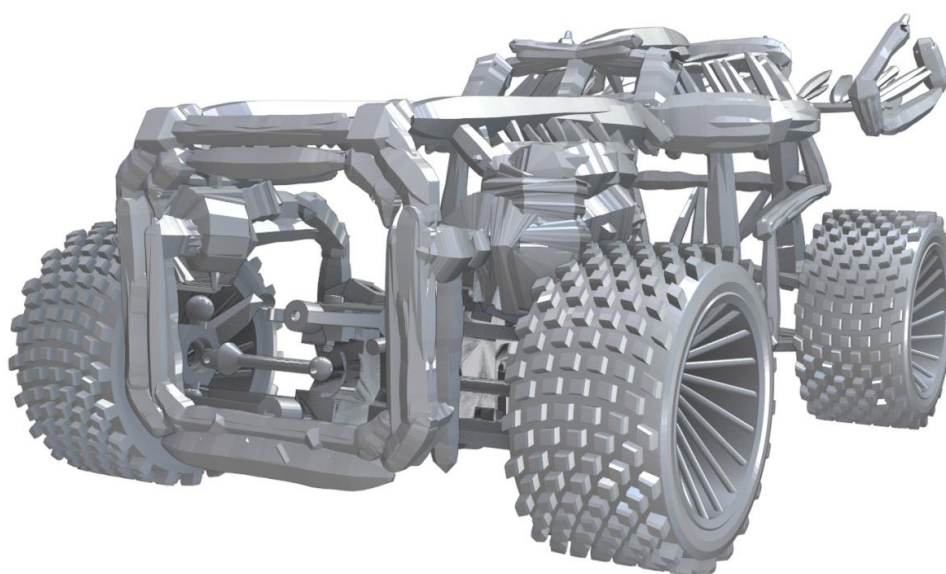
Obrázek 12 Návrh vytvořený pomocí nástroje Grease pencil



Obrázek 13 Designový návrh převedený do 3D kostry



Obrázek 14 Designový návrh převedený do 3D kostry



Obrázek 15 Designový návrh převedený do 3D kostry

6 MATERIÁLOVÁ ZKOUŠKA FILAMENTŮ

6.1 PLA

PLA je nejčastěji používaným materiálem pro 3d tisk. Je biologicky odbouratelný, snadno se tiskne a výtisky z PLA jsou velmi tvrdé. Perfektní volba pro tisk velkých objektů díky nízké tepelné roztažnosti (tisky se na podložce nekrouť). PLA má jako každý jiný materiál i několik slabých stránek. Vedlejší efekt nízké teploty tání je nízká teplotní odolnost, výtisky začínají ztrácet mechanickou pevnost už při teplotách nad 60 °C.

(Prusa3D - Open-Source 3D printers by Josef Prusa [online]. Copyright © [cit. 05.08.2020]. Dostupné z: https://www.prusa3d.com/downloads/manual/prusa3d_manual_mk3_cz.pdf)

Zpočátku jsem začal dělat materiálové zkoušky právě z PLA (polylactic acid). Motivací mi pro to byly téměř bezchybné vlastnosti při tisku, kdy se díly tiskly s velkou přesností, prakticky bez jakýchkoliv defektů. Tisk byl rychlý, a měl velmi dobrou estetickou úroveň. Na rozdíl od PETG, které jsem začal používat později, má matný povrch, díky čemuž nepůsobí lacině. Brzy jsem však zjistil, že má tento materiál obrovské nedostatky. Již z popisu je zřejmé, že má tento materiál velmi nízkou teplotní odolnost. Věděl jsem tak, že nebude možné tisknout například uchycení motoru, protože ten běžně dosahuje teplot přes 60 °C. Ovšem během prvních prototypů jsem zjistil, že ani poloosy a primární převodové soukolí nemohu tisknout z tohoto materiálu. Díky tření, které v těchto dílech vzniká, docházelo k destrukci dílů, kde nepomohlo ani třecí plochy řádně promazat. Co mne však překvapilo, bylo zjištění, že tento materiál časem teče. Zkráceně lze tento efekt demonstrovat na pružině. Pokud vytisknete pružinu, tak ta funguje normálně. Po deformaci si uchovává energii, a pokud pružinu uvolníte, ta se vrátí do původního tvaru. Pokud ovšem ponecháte pružinu v deformovaném stavu delší dobu, řádově několik dnů až týdnů, již se do původního tvaru nevrátí, ale přizpůsobí se tvaru novému. Tento efekt je závislý od teploty, čím víc se blíží k hranici 60 °C tím je intenzivnější a dochází k němu rychleji. Díky tomuto zjištění jsem věděl, že na mnoho dílu nebudu moci použít PLA, které je tak pro můj projekt vhodné spíše pro designové přídavné prvky.

6.2 PETG

PETG je velmi houževnatý materiál s dobrou tepelnou odolností. PETG má univerzální

využití, ale je zejména vhodný pro tisk mechanických částí. PETG má velmi malou tepelnou roztažnost, na podložce se tedy nekrouť a tudíž není problém s tiskem velkých modelů. PETG má nízkou tepelnou roztažnost, takže i při tisku velkých modelů se zřídka kdy zkrouť a odlepi od vyhřívané podložky. PETG je navíc houževnatý, tak akorát pružný a díky tomu se při namáhání často jen dočasně prohne, což zabrání prasknutí. Na rozdíl od PLA nebo ABS, PETG má tendenci trochu stringovat, neboli při přejezdu tahat tenká vlákna plastu.

(Prusa3D - Open-Source 3D printers by Josef Prusa [online].

Copyright © [cit. 05.08.2020]. Dostupné z:

https://www.prusa3d.com/downloads/manual/prusa3d_manual_mk3_cz.pdf

Při hledání nového materiálu, kterým bych nahradil PLA a mohl z něj tisknout většinu dílů, jsem na základě rešerše zvolil PETG. Ostatně 3D tiskárny PRUSA využívají právě tento materiál pro tisk jejich spojovacích dílů. Brzy jsem zjistil, že PETG nebude mít nikdy perfektní vizuální výstup. Při tisku zůstávají na výtisku drobné vlákna vzniklé tažností plastu. Částečně je lze později odstranit horkovzdušnou pistolí, nebo plamenem, avšak povrch nikdy nebude tak celistvý jako u PLA. Taktéž má PETG odlišný lom světla, proto jsou díly z něj více lesklé a mnohem více vizuálně vystupují vrstvy tisku. Tisk tak působí víc laciným dojmem, zároveň je to však přijatelný ústupek, za funkční výstup. Oproti PLA má PETG ještě výhodu v podobě vyšší teplotní odolnosti, umožnilo mi to tak tisknout díly, které odolávají vysokým otáčkám (např. otáčky motoru jsem testoval až do 60 000 otáček za minutu, což umožňuje dosahovat maximální rychlosti až 80 km/h, která je již za konstrukční hranicí modelu, přičemž primární soukolí vydrželo toto namáhání bez problémů.) Taktéž jsem zjistil, že má PETG vyšší soudržnost vrstev, nedochází tak snadno k rozlomení dílu. I to se příznivě projevilo na výsledné odolnosti. Drobným problémem, který s sebou však tato vlastnost přináší je také větší přilnavost podpůrných konstrukcí při tisku převisů, které je tam náročnější po vytisknutí odstranit, zanechávají větší stopy na povrchu a celkově to snižuje uživatelský komfort.

6.3 CPE

Krátce jsem otestoval i materiál s označením CPE HG100. Dosahoval jsem s ním sice lepších vlastností než s PLA. V mnou provedených pevnostních zkouškách měl tento

materiál podobné výsledky jako PETG. Avšak vyšší cena kvalita povrchu ještě horší než u PETG a náchylnost k lomům mě nakonec od tohoto materiálu odradila.

6.4 ABS

ABS je velmi pevný a všestranný materiál s výbornou tepelnou odolností. Je vhodný pro vnitřní i venkovní použití. Zároveň však ABS má bohužel velmi vysokou tepelnou roztažnost, která komplikuje jednoduchost tisku a to zejména u rozměrnějších modelů.

(Prusa3D - Open-Source 3D printers by Josef Prusa [online]. Copyright © [cit. 05.08.2020]. Dostupné z: https://www.prusa3d.com/downloads/manual/prusa3d_manual_mk3_cz.pdf)

Při materiálových zkouškách z ABS (Akrylonitrilbutadienstyren) jsem měl často problémy s deformacemi a kroucením modelu při tisku, což ne vždy znemožnilo funkční výtisk. Často se jednalo pouze o drobnější defekty, které však ubíraly výslednému modelu na estetické stránce. Z tohoto důvodu jsem navzdory jinak perfektním vlastnostem od dalších testů z ABS upustil.

6.5 ASA

Ke konci mé práce se na trhu filamentů objevil nový materiál ASA (Akrylonitril-styrén-akrylát). Jedná se o materiál velmi podobných vlastností jako ABS, na rozdíl od něj má však vylepšené vlastnosti v ohledu tepelné roztažnosti, jeví se tak jako velmi slibný materiál. Bohužel před dokončením práce jsem jeho použití již nestihl otestovat.

6.6 FLEXFILL 98A

V olejových tlumičích jsem potřeboval použít těsnění. Pro tento typ použití jsou dostupné flexibilní materiály. Tyto materiály jsou po vytisknutí ohebné. Nejsou elastické a ani zdaleka se po mechanické stránce nepodobají například silikonu, který se u těsnění běžně používá. Jsou mnohem více tuhé a tvrdé. Nejvíce je můžu připodobnit obalu od sprchového gelu. Jejich tisk je obtížný, obzvlášť malé díly, jako jsem tiskl já jsou náchylné k deformacím vlivem nedostatečného chlazení. Zároveň mají tyto filamenty obrovskou soudržnost vrstev, což je užitečná vlastnost, nicméně vyžadují přípravu tiskové podložky, jinak by se mohlo stát, že bez jejího poškození by nešly vytisklé díly vůbec sejmout.

7 MATERIÁLOVÁ ZKOUŠKA MECHANICKÝCH DÍLŮ

7.1 Slepá vývojová větev

Během práce na projektu jsem přišel do fáze, kdy jsem musel tisknout mnoho materiálových zkoušek, abych si ověřil funkčnost jednotlivých řešení. Velká spotřeba materiálu a dlouhé tiskové časy mne přivedly na myšlenku tisknout tyto zkoušky v menším měřítku. Upravil jsem proto tehdejší verzi platformy do měřítko 1:24. Nestačilo pouze zmenšit měřítko 3D objektu, ale musel jsem i upravit uchycení šroubů, ložisek, osek. Některé proporce jsem musel z důvodu odlišného smršťování drobně upravit. Přepracovat uchycení celé elektroniky. Pochopitelně jsem však brzy zjistil, že jsem musel udělat příliš mnoho změn, na to aby mi zmenšený model pomohl odzkoušet většinu funkcí. Vytvořil jsem tak spíše nezávislý model. Zaujali mně možnosti, jak by se s touto zmenšenou verzí dalo dále pracovat, nicméně jsem musel tuto vývojovou větev prozatím odložit a vrátit se zpět k původní platformě.



Obrázek 16 Náhled zmenšeného modelu v měřítku 1:24

7.2 Kulové klouby

Velkou výzvou bylo vytvořit dostatečně malé ale přitom funkční a pevné kulové klouby. Kulové klouby jsou použity v zavěšení kol, a umožňují současně ohyb a rotaci táhla, nebo zavěšení. V komerční sféře RC model jsou kulové klouby nejčastěji tvořeny mosaznou koulí s plastovým pouzdem, popřípadě plastovou koulí s plastovým pouzdem. V 3D tisku se ukázaly jako dva největší soupeři hladkost povrchu a přesnost tisku. Nepřesnost povrchu díky zřetelným vrstvám tisku se povedlo obstojně vyřešit pootočením dílů o 90°, díky čemuž se kloub nezadrhává, taktéž je nezbytné jej promazat suchým olejem. S přesností tisku jsem bojoval dlouho. Když byla vůle v mezi díly příliš velká, tak při větší axiální síle kloub vyskakoval. Pokud byla vůle naopak menší, tak nepoměrně vzrostl odpor při pohybu. Nakonec se mi tento problém povedlo vyřešit rozpůlením objímky, díky čemuž může mírně pružit na kouli a při přijatelném odporu vytvořit dostatečně bytelné spojení.

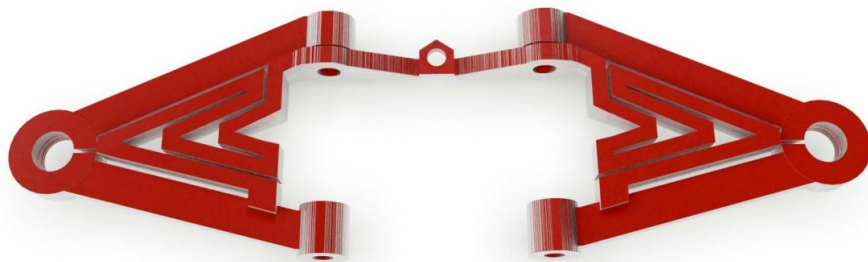


Obrázek 17 Ukázka mého řešení kulového kloubu

7.3 Pružnáprav

Už z principu 3D tisku jsem věděl, že je nereálné vytisknout pro můj model jinak u RC modelů aut obvyklé vinuté pružiny. Udělal jsem několik pokusů s vlastním vinutím pružiny z milimetrového ocelového drátu. Výsledky byly sice obstojné, nicméně jedním z cílů práce bylo možnost vytisknout co nejvíce dílů na tiskárně. V rámci rešerše jsem zjistil, že se u velkých aut často pro odpružení používají tzv. Torzní zkrutné tyče. Ty lze na tiskárně tisknout pro změnu dobře. I zde jsem udělal několik materiálových zkoušek. Při

snaze umístit tento prvek odpružení co nejušporněji jsem přišel na nápad, který jsem pracovně pojmenoval pružnáprav. Plochý pružící prvek jsem umístil do vidlice dolní nápravy, vznikl díl, který se dobře tiskne na tiskárně, využívá dobře směr vrstev a je nenáročný na zástavový prostor v modelu. Jako bonus hodnotím esteticky zajímavou strukturu, kterou v průběhu pružení vytváří.

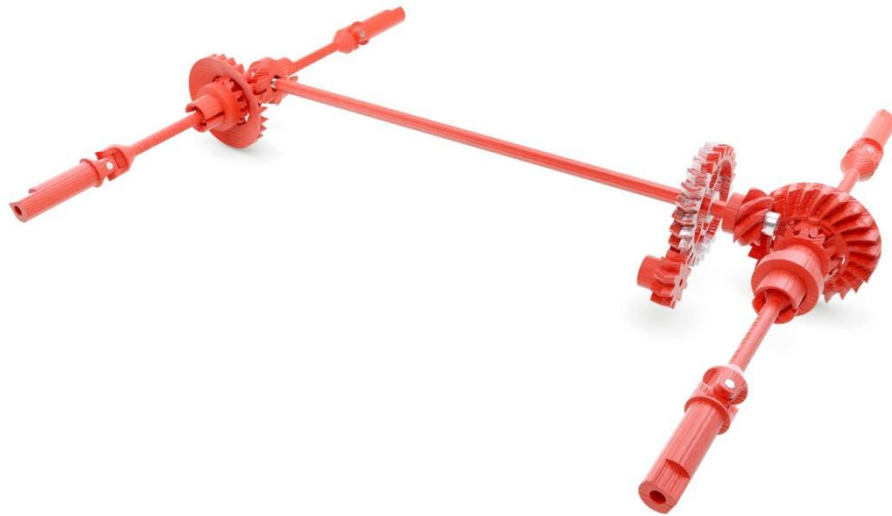


Obrázek 18 Pružnáprav

7.4 Pohonné ústrojí

Protože v rámci své práce jsem navrhl podvozek určený primárně do terénu, zvolil jsem proto symetrický pohon všech čtyř kol. Tento typ totiž dokáže nejlépe přenést výkon na nepevněný povrch a zajišťuje modelu nejlepší stabilitu během jízdy.

Elektromotor přenáší točivý moment pastorkem na hlavní oběhové kolo, to dále přesouvá výkon přes mezi nápravovou osu na přední a zadní diferenciál. Odtud je přes čtyři poloosy, připojené pomocí kloubových spojů, přenesen na unašeče kol, na které jsou přes šestihranný unašeče upevněné ráfky kol.

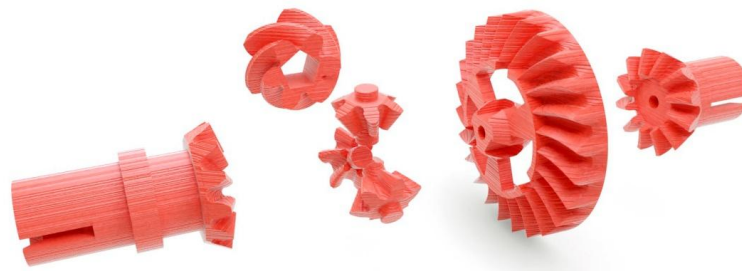


Obrázek 19 Vizualizace pohonného ústrojí

7.4.1 Diferenciál

Diferenciál je mechanická součástka, která rozděljuje točivý moment mezi pravé a levé kolo na stejné nápravě, a umožňuje tak aby se při průjezdu zatáčkou vnitřní kolo otáčelo pomaleji, než kolo vnější, jelikož má kratší dráhu. Diferenciál, který se nachází v modelu je tvořen soustavou ozubených kol. Celé soukolí diferenciálu jsem ve svém modelu navrhl poměrově větší a robustnější, než je obvyklé u komerčních RC modelů, snažil jsem se tím vykompenzovat menší mechanickou odolnost 3D tisku.

Během rešerše možnosti modelování ozubených kol jsem objevil projekt Otvinta.com (blíže představen výše). Díky tomuto projektu jsem objevil tzv. Hypoidní soukolí. Jedná se o kuželové soukolí s mimoběžnými osami, které jsou k sobě kolmé. Použití tohoto soukolí v diferenciálu mi umožnilo posunout mezi nápravovou osu výše, a využít nově vzniklý prostor pod ní k uložení akumulátoru. Výhodou této koncepce je v mém případě menší zástavový prostor, zejména užší trup modelu, který mi později umožnil více designových možností ve střední části modelu.



Obrázek 20 Diferenciál

7.4.2 Olejové tlumiče kmitů

Původně jsem zamýšlel pro svůj model použít klasickou konstrukci tlumičů v podobě pístu. Po mnoha neúspěšných pokusech jsem ovšem zjistil, že je nereálné dosáhnout těsnosti mezi pístnicí procházející tištěným těsněním. Tento problém jsem nakonec vyřešil vytvořením pákového tlumiče, kdy celá páka je překrytá vytištěným rukávem, který zároveň tvoří jeden celek s těsněním. Proto při pohybu tlumiče nedochází k posouvání pevného dílu po těsnění, ale k deformaci celého těsnění. Povedlo se mi tímto způsobem vytvořit kompletně 3D tištěný funkční tlumič, ze kterého neuniká olej.

7.5 Poloosy

Přenos točivého momentu mezi diferenciálem a nábojem kola obstarává poloosa. Jelikož je to u komerčních modelů obvykle místo náchylné k poškození velkým rázem (například při vyrovnávání otáček kola a podkladu během doskoku, což by terénní model měl zvládat s přehledem). Rozhodl jsem se i tento prvek oproti běžným proporcím zvětšit zhruba o čtvrtinu. Mimo vyšší mechanické odolnosti jsem tak dosáhl lepších výsledků při tisku drobného spojovacího dílu.

Poloosa je s unášecem kola spojena tzv. Kardanovým kloubem. Ten má podobu dvou vidlic vzájemně pootočených o 90° a spojených malých dílem zvaný ježek. Při zkušebních testech jsem zjistil, že je potřeba, aby vrstvy tisku byly vůči tělu poloosy i unášeci

orientované podélně, avšak správná orientace ježka byla složitější. Po pár neúspěšných pokusech se mi povedlo najít řešení tak, že jsem díl při tisku pootočil o 45° čímž jsem ho postavil na hranu, na které jsem za tímto účelem přidal malou plošku, aby se díl při tisku neodlupoval z tiskové podložky.

S Diferenciálem je poloosa spojena za pomoci kloubu, který konstrukčně vychází z tzv. tripoidního kloubu, avšak oproti tomuto vzoru je značně zjednodušený, je tvořen jen kulovou hlavicí s příčným kolíkem, která zapadá do protikusu ve tvaru jamky s příčným řezem. Tento kloub umožňuje malý axiální posun osy a umožňuje tak kompenzovat pohyby poloosy, ke kterým dochází v průběhu pružení. Toto kloubové spojení je běžně u RC modelů pro svou konstrukční jednoduchost a velkou odolnost běžně používáno, nicméně nemá svůj specifický název.



Obrázek 21 Poloosa

7.6 Uchycení motoru

Netradičním způsobem jsem se rozhodl vyřešit i uchycení elektrického motoru do šasi. Mým cílem bylo jak zjednodušit výměnu pastorku tak i následné vymezování vůle v přenosovém soukolí. K motoru se tak přichytí díl, který se následně zasune do dvou vodících lišt v hlavním rámu. Pomocí jednoho šroubu se poté přitáhne celý motor na správnou vzdálenost. Při výměně pastorku tak stačí jen povolit motorový šroub, vyměnit pastorek a opět dotáhnout motorový šroub. Pastorek se obvykle mění na základě zvoleného

terénu či závodní tratě pro provoz modelu. Pro rychlejší tratě, nebo méně komplikovaný terén se osazuje větší pastorek, se kterým model dosahuje vyšších rychlostí, v opačném případě se osazuje pastorek menší, pro větší točivý moment a snížení teploty příliš zatížení elektrického pohonu.

7.7 Uchycení akumulátoru

Akumulátor v modelu tohoto typu vystačí přibližně pro 15 minut jízdy. Poté je nutné jej opět nabít. Je možné ho nabíjet přímo v modelu, nicméně je zvyklostí mít více kusů akumulátoru a postupně je střídat. Z toho vyplývá požadavek na snadnou demontáž a výměnu akumulátoru bez potřeby mít u sebe jakéhokoliv náčiní. Díky, jinak u modelů této kategorie neobvyklého, posunutí mezinápravové osy výše jsem mohl umístit akumulátor doprostřed modelu a zlepšit tak jízdní vlastnosti lepším umístěním těžiště v centru modelu. Tato lokace nicméně znemožnila přístup k akumulátoru z jakékoliv jiné strany než zespodu. Navrhl jsem proto v hlavním rámu výklopné víko. Toto víko tvoří s hlavním rámem jeden celek. Jako pružné spojení jsem použil prvek v angličtině zvaný Living hinge. Jedná se o kloub, který k ohybu využívá pružnost materiálu, z kterého je díl vyroben.

7.8 Značení verze dílu

Z výše popsaného postupu práce je zřejmé, že jsem musel většinu dílů otestovat, vytisknout několik různých prototypů každého dílu (Možnost rychle a snadno vytvořit množství derivátů původního dílu je ostatně velkou výhodou 3D tisku), než se mi povedlo navrhnout funkční součástku. Jelikož se od sebe jednotlivé pokusy často odlišovaly jen nepatrnou změnou proporcí, začal jsem si jednotlivé verze dílu číselně značit.



Obrázek 22 Ukázka značení dílu

III. PROJEKTOVÁ ČÁST

8 MĚŘÍTKO MODELU

Velká část podobných projektů, například výše zmíněné modely v projektu OpenRC, pracujících s 3D tiskem RC modelů aut operuje v měřítku 1:10. Je to logický krok, jelikož 3D tisk má nedostatky s přesností jemných dílů, ať již ze samotného principu vrstveného tisku, či následným deformacím vzniklým smršťováním plastu při chladnutí. Také se tak konstruktér vyhne mnoha problémům při návrhu drobných dílů.

Po důkladném promyšlení možných komplikací jsem se rozhodl jít rozdílnou cestou a zvolil jsem měřítko menší, 1:18. Sice mi to přineslo zmíněné problémy, které jsem musel vyřešit. Na druhou stranu to mému designu přineslo jisté výhody. Tou nejvýznamnější je zhruba šestinovou spotřebu tiskového materiálu, což se pozitivně promítne do výsledných nákladů modelu. Druhou výhodou je zkrácený tiskový čas. Kdy je možné model v tomto měřítku vytisknout během jednoho dne. Také mi to umožnilo lépe pracovat s většími díly, které není nezbytné rozdělovat na více částí. Mohl jsem tak jak omezit výsledný počet dílů, tak zjednodušit skládání auta. Malý model také dosahuje lepších mechanických vlastností. Menší váha a rozměry se pozitivně podepíší na únosnosti dílů. Není tak náchylný k poškození, což částečně kompenzuje menší pevnost 3D tištěných dílů. Také absence konkurence v měřítku 1:18 je částečným pozitivem.

9 ODHADOVANÁ CENA MODELU

Tisk 3D tištěných dílů spotřebuje přibližně 500g materiálu, což je při současných cenách kvalitního filamentu přibližně 300 Kč. Dále je třeba pořídit ložiska, které je možné ze zahraničí objednat za cenu přibližně 100 Kč. Spojovací materiál v podobě šroubků, matic a 2mm osek je možné běžně pořídit do 50 Kč. K modelu je potřeba pořídit komerčně vyráběná kola, jejichž cena se pohybuje přibližně kolem 750 Kč za set. Potřebnou elektroniku pro auto: akumulátor, motor, elektronický regulátor, servo motor lze ze zahraničí objednat za cenu kolem 800 Kč.

Celkem tak cena modelu vychází orientačně na 2000 Kč

Ve své projektu počítám s již zkušeným modelářem, který již má vlastní rádio (ovládací zařízení) a nabíječku akumulátorů. Pokud by bylo třeba dokoupit toto vybavení, tak se pořízení modelu prodraží přibližně o 1500 Kč. Osobně si myslím, že je tato cena přijatelná a konkurence schopná s komerčně dostupnými modely, jejichž cena se pohybuje přibližně od 2000 Kč do 8000 Kč. Oproti komerčním modelům má můj návrh velkou výhodu v možnosti velice levném tisku náhradních dílů, které jsou u komerčních modelů často nepřiměřeně drahé. Navíc k zaměření modelu je to poměrně častá investice.

10 MODULÁRNÍ DESIGN

Od základu jsem ve svém projektu počítal s cílovou skupinou, která si model bude vytvářet svépomocí, nejčastěji ve své vlastní dílně. Této netradiční situace jsem se rozhodl využít a navrhl jsem proto model jako modulární, tak, že si ho tvůrce může přizpůsobit podle svého způsobu užití.

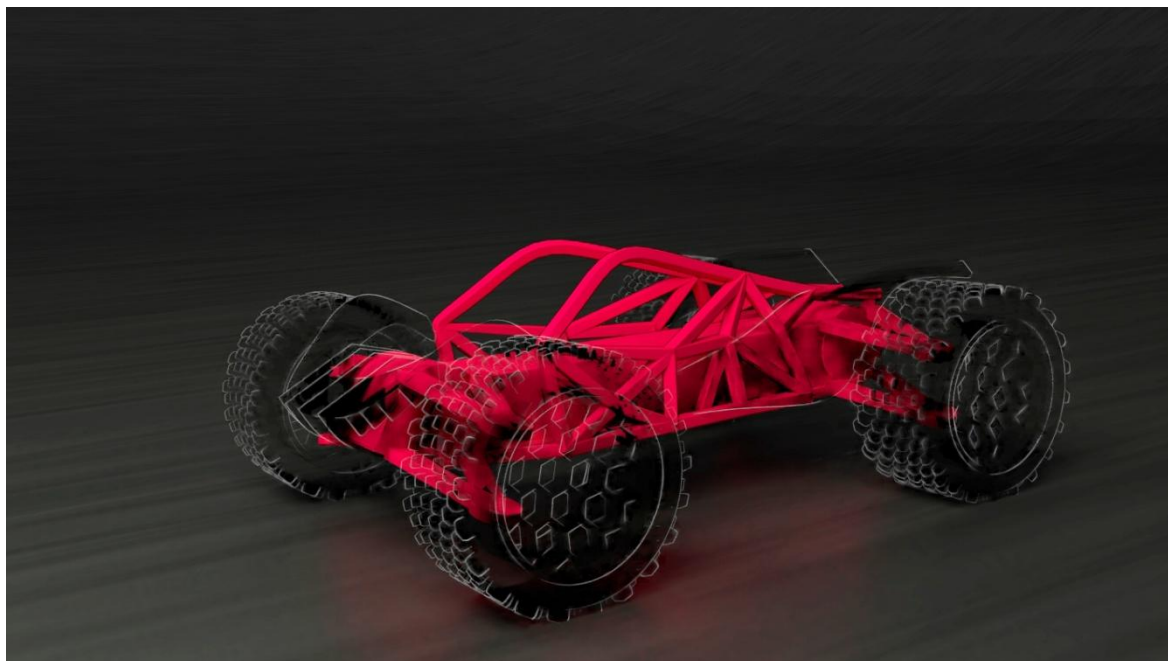
Věnoval jsem proto mnoho času vyřešení technické stránky podvozku a umístil všechny důležité mechanické součásti kompaktně do středu modelu, tak aby se kolem uvolnilo místo pro rozličné designové varianty. Tento kompaktní základ podvozku jsem nazval platforma.



Obrázek 23 Vizualizace skladyby modelu. Červenou barvou je zobrazena platforma.

Platforma nese kompletní elektroniku modelu, celou pohonnou sestavu, přepákování mechanismu řízení. Její součástí je i odpružení a většina částí zavěšení kol. Jak jsem již psal výše, netradičním uspořádáním mezinápravové osy a uložení akumulátoru jsem dosáhl velice úzkého profilu platformy.

Samotná platforma je sice z teoretického hlediska samostatně schopná jízdy, avšak pro pevnost celé konstrukce je nezbytné použít některý z rámu.



Obrázek 24 Jedna z variant rámu

Rám dodá modelu nezbytnou tuhost konstrukce a ponese značnou část zatížení při nárazu, nebo extrémní jízdě. Ve svém projektu jsem navrhl několik různých designových variant rámu, uživatel si tak může vytisknout podle svého vkusu, popřípadě dle způsobu použití modelu. Zkušení modeláři, znalí základní práce v 3D softwaru a se zkušeností s 3D tiskem také mohou podle vzorového modelu vytvořit vlastní design rámu. Jelikož v mém projektu počítám s pevným statickým rámem, tak návrh nového tvaru není příliš náročná a zvládne ho průměrný modelář.

Jelikož jsem se ve svém designu zabýval kromě samotné použitelnosti také základní aerodynamikou, navrhl jsem pro většinu rámu také aerodynamický kit, který s rámem tvoří jeden designový celek.



Obrázek 25 Jedna z variant aerodynamických ploch

Aerodynamické kity jsem navrhl odděleně od rámu ze třech důvodů. V první řadě je možné pro jeden rám použít z více variant aerodynamických kitů.

Za druhé je od každé části očekávané jiné mechanické vlastnosti. Rám musí být pevný a houževnatý, proto jej bude uživatel chtít vytisknout z materiálů, jako jsou ABS, PETG, NYLON, popřípadě kompozity s karbonovými vlákny. Společnou vlastností těchto materiálů jsou ne zcela ideální vizuální výstupy tisku. Jsou to materiály náchylné na tepelné deformace, otřepané povrchy. Karbonové kompozity jsou navíc také několikanásobně dražší. Oproti tomu Aerodynamické prvky se nebudou podílet na mechanické tuhosti modelu, proto je lze vytisknout z materiálů, které mají vizuálně kvalitnější výstupy i za cenu horších vlastností, především PLA. Také je možné použít flexibilní materiály, a zaručit tak, že se z modelu při drobnějších kolizích nebudou odlamovat vyčnívající díly, jakými jsou blatníky, či rozličné přitlačné plochy.

11 CÍLOVÁ SKUPINA

Jako cílovou skupinu jsem se zaměřil na modeláře ve věku od 15ti let více, kteří již mají s RC modely větší zkušenosti. Zároveň předpokládám, že již budou mít k dispozici část modelářského vybavení a nebude to tak jejich první a jediný model. Také je podmínkou určitá manuální zručnost, protože vytisknuté části je často nutné mírně doladit a následně vše správně složit dohromady. Předpokládám, že většina potenciálních zájemců bude buď přímo vlastnit FDM 3D tiskárnu, nebo k ní budou mít přístup.

12 PREZENTACE

Ke svému projektu jsem vytvořil i jednoduchou 3D prezentaci, kterou si může uživatel promítnout na počítači a pomůže mu pochopit, jak celý model zkompletovat.

ZÁVĚR

Na závěr své práce tak můžu říci, že cítím určité uspokojení, že jsem posunul tento projekt do funkční podoby. Nicméně nerad bych tímto svoji angažovanost v RC modelech a 3D tisku ukončil. I nadále bych se rád této problematice věnoval. Během projektu jsem objevil mnoho různých řešení, přitom zdaleka ne všechny jsem nakonec mohl použít, mám tak již teď zásobu řešení, které by si zajisté také zasloužili převést do fyzické podoby.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

VLK, František. Podvozky motorových vozidel. 3., přeprac., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6464-X.

HOWELL, Larry L. Compliant mechanisms. Chichester: John Wiley, 2001. ISBN 0-471-38478-X

KOLESÁR, Zdeno. Kapitoly z dějin designu. V Praze: Vysoká škola umělecko-průmyslová, 2004. ISBN 80-86863-03-4.

KATZ, Joseph. Race car aerodynamics: designing for speed. Cambridge, MA, USA: R. Bentley, c1995. ISBN 0837601428.

DANIEL, Ondřej. Kultura svépomocí: ekonomické a politické rozměry v českém subkulturním prostředí pozdního státního socialismu a postsocialismu. Praha: Filozofická fakulta Univerzity Karlovy, 2016. ISBN 978-80-7308-706-7.

KRATOCHVÍLOVÁ, Jitka. 3D tisk. Přeložil Petra MILLAROVÁ. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2015. ISBN 978-80-7414-936-8.

Vše o tryskách s různým průměrem - Prusa Printers. Prusa Printers - Official Prusa 3D printers community [online]. Copyright © Prusa Research a.s. [cit. 09.08.2020]. Dostupné z: https://blog.prusaprinters.org/cs/vse-o-tryskach-s-ruzny-m-prumerem_34009/

Prusa Knowledge Base. Prusa Knowledge Base [online]. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/vrstvy-a-perimetry_5929

Prusa3D - Open-Source 3D printers by Josef Prusa [online]. Copyright © [cit. 05.08.2020]. Dostupné z: https://www.prusa3d.com/downloads/manual/prusa3d_manual_mk3_cz.pdf

Prusa3D - Open-Source 3D printers by Josef Prusa [online].

Copyright © [cit. 05.08.2020]. Dostupné z:

https://www.prusa3d.com/downloads/manual/prusa3d_manual_mk3_cz.pdf

Prusa3D - Open-Source 3D printers by Josef Prusa [online]. Copyright © [cit. 05.08.2020].

Dostupné z: https://www.prusa3d.com/downloads/manual/prusa3d_manual_mk3_cz.pdf

Prusa3D - Open-Source 3D printers by Josef Prusa [online]. Copyright © [cit. 05.08.2020].

Dostupné z: https://www.prusa3d.com/downloads/manual/prusa3d_manual_mk3_cz.pdf

History — blender.org. blender.org - Home of the Blender project - Free and Open 3D

Creation Software [online]. Dostupné z: <https://www.blender.org/foundation/history/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Lexanová karoserie	12
Zdroj: httpswww.rccaraction.comwp-content/uploads/201702bp_1.jpg	
Obrázek 2 3D tiskárna Průša i3 mk3s.....	16
Zdroj: httpswww.prusa3d.comwp-content/uploads/201909MK-1-e1568036631208.png	
Obrázek 3 Trysky s rozdílným průměrem	17
Zdroj: httpswww.3dpmav.comwp-content/uploads/201704e3dhead1.jpg	
Obrázek 4 stejný objekt tištěný s rozdílnou výškou vrstvy	18
Zdroj: httpsblog.prusaprinters.orgwp-content/uploads/201802jp3.0-Slic3r-Prusa-Edition-Quality-1024x306.jpg	
Obrázek 5 Vlevo Prusa Slicer podpory, vpravo Meshmixer podpory	19
Obrázek 6 Porovnání Mesh Polygonu s NURBS modelem	21
Zdroj: httpshelp.autodesk.comcloudhelp/2016KOR/Alias-Tutorials-Legacy/images/GUID-844B95EE-96B1-4C41-972D-835946754231.png	
Obrázek 7 Prusa Slicer.....	22
Obrázek 8 Náhled aerodynamického tunelu	23
Obrázek 9 Digitální skici	25
Obrázek 10 Grafický tablet Huion Canvas PRO 12	26
Zdroj: httpsimages-na.ssl-images-amazon.comimages/I71G-XxUxHPL._AC_SL1500_.jpg	
Obrázek 11 Rychlý náhled rámu vymodelovaný v Sculptrisu	27
Obrázek 12 Návrh vytvořený pomocí nástroje Grease pencil	28
Obrázek 13 Designový návrh převedený do 3D kostry	28
Obrázek 14 Designový návrh převedený do 3D kostry	29
Obrázek 15 Designový návrh převedený do 3D kostry	29
Obrázek 16 Náhled zmenšeného modelu v měřítku 1:24.....	33
Obrázek 17 Ukázka mého řešení kulového kloubu	34
Obrázek 18 Pružnáprava.....	35
Obrázek 19 Vizualizace pohonného ústrojí	36
Obrázek 20 Diferenciál	37
Obrázek 21 Poloosa	38
Obrázek 22 Ukázka značení dílu	39
Obrázek 23 Vizualizace skladby modelu. Červenou barvou je zobrazena platforma.	43
Obrázek 24 Jedna z variant rámu.....	44
Obrázek 25 Jedna z variant aerodynamických ploch.....	45

SEZNAM PŘÍLOH

CD-ROM