



Středoškolská technika 2025

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

RC MODEL AUTA FERRARI F40

Ondřej MIŠAGA, Pavel NEDOMA

SPŠ Žďár nad Sázavou
Studentská 1, Žďár nad Sázavou

OBSAH

1	Úvod Práce	3
2	Část 1. – Představení a Historický kontext Ferrari F40.....	3
2.1	Motor	4
2.2	Zajímavosti	5
2.3	Typy karoserií	6
3	Návrh RC modelu.....	7
3.1	Návrh karoserie.....	7
3.2	Návrh podvozku.....	8
3.3	Upínák pro karoserii s podvozkem.....	9
4	Návrh řízení a odpružení.....	10
4.1	Popis lichoběžníkové nápravy	10
4.1.1	Hlavní konstrukční prvky	11
4.1.2	Úpravy délky ramen a vliv na jízdní charakteristiky	12
4.2	Řešení nápravy u Ferrari F40	13
4.2.1	Přední náprava	13

4.2.2	Zadní náprava	14
4.3	Řešení na našem modelu	15
4.3.1	Zadní náprava	15
4.3.2	Přední náprava	16
5	Ekonomické vyhodnocení – 1. Části	17
6	Závěr – 1. Části	17
7	Část 2. – Původ a porovnání RC modelu se skutečným vozem	18
7.1	Pohon	19
8	Návrh RC modelu	20
8.1	Návrh diferenciálního pohonu	20
8.1.1	Funkce diferenciálu	21
8.1.2	Integrace diferenciálu do našeho modelu	21
8.2	Návrh mechatroniky	24
8.2.1	Baterie	24
8.2.2	Elektromotor	24
8.2.3	Servomotor	24
8.2.4	Přijímač/Vypínač	25
8.2.5	Schéma Mechatroniky	26
8.3	Návrh Designových a funkčních prvků	27
8.3.1	Kryt motoru, kanály, zadní rám, zrcátka	27
8.3.2	Světla	27
8.3.3	Kola	30
8.3.4	SPZ	32
9	Ekonomické vyhodnocení – 2. Části	33
10	Závěr – 2. Části	33
	Seznam Obrázků	34
	Seznam použité literatury	35

1 ÚVOD PRÁCE

Cílem tohoto projektu bylo vytvořit model auta na dálkové ovládání, které je inspirováno designově Ferrari F40. Model auta má odpružené obě nápravy zatáčecí přední nápravu a pohon všech čtyř kol. Práce obsahuje mechatroniku, práci v 3D softwarech, navrhování vlastních konstrukčních součástí a designových prvků. Celý model auta je vytvořený v Inventoru i s výkresovou dokumentací. Většina částí je vyrobena na 3D tiskárně.

2 ČÁST 1. – PŘEDSTAVENÍ A HISTORICKÝ KONTEXT FERRARI F40

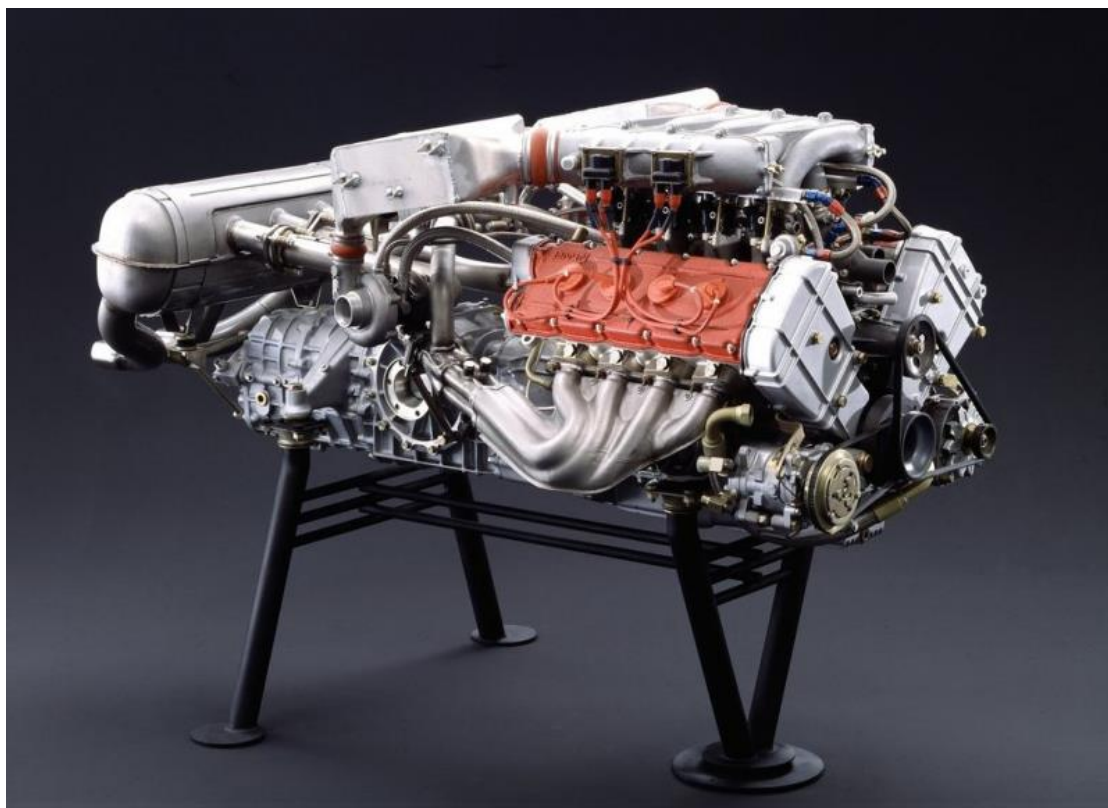
Ferrari F40 je legendárním vozem a položil základ pro aktuální supersporty. Proto pro nás byl je velkou inspirací. Nabývá na Historické hodnotě jelikož je to poslední vůz Ferrari, který byl pod vedením samotného Enza Ferrariho. V roce 1987 kdy se začalo produkovat Ferrari F40 přinesl spousty novinek. Většina z nich posunula vývoj kupředu a tyto prvky se používají dodnes. Inženýři z Itálie ani nezapomněli na řidičský zážitek. Ferrari F40 nemá žádné řidičské asistenty, na které jsme dnes zvyklí. Žádná kontrola trakce, posilování řízení dokonce ani ABS což můžeme dnes považovat za nebezpečné, jelikož ABS je velice důležitý asistent, když se bavíme o bezpečnosti.

Použití kevlarových vláken na Ferrari F40 bylo v 80. letech revoluční, protože tento materiál byl do té doby využíván převážně v letectví, armádě a motorsportu. Kevlar se u F40 objevil na karoserii, podlahové struktuře a výztuhách, kde pomáhal výrazně snížit hmotnost a zároveň zlepšit pevnost. Ve srovnání s tradičním ocelovým šasi nebo hliníkem nabízel lepší odolnost proti nárazu a torzní pevnost, což zlepšovalo ovladatelnost vozu i bezpečnost při vysokých rychlostech. Použití kevlaru bylo také klíčové pro dosažení nízké hmotnosti F40 (pouhých 1 100 kg), což bylo zásadní pro jeho extrémní výkon a agilitu.

Hlavní nevýhodou kevlaru byla jeho extrémně vysoká cena a složitost výroby. V 80. letech bylo použití kompozitních materiálů v produkčních vozech velmi vzácné a jejich zpracování vyžadovalo speciální technologie a ruční výrobu, což zvyšovalo náklady. Kevlar také není tak tuhý jako uhlíková vlákna, což znamená, že musel být kombinován s karbonem pro dosažení ideální pevnosti. Další nevýhodou byla obtížná oprava v případě poškození – zatímco ocel nebo hliník se daly snadno vyklepat a opravit, kevlarové a karbonové panely vyžadovaly sofistikovanější metody opravy nebo úplnou výměnu. I přes tyto nevýhody přineslo použití kevlaru zásadní technologický posun, který později ovlivnil vývoj superaut a hypersportů, kde jsou lehké kompozity dnes standardem.

2.1 Motor

Srdce každého supersportu je pochopitelně motor. Ten byl ve své době bezkonkurenční. V 80. letech se motor F40 řadil mezi absolutní špičku mezi produkčními vozy. Byl nejen extrémně výkonný, ale i technologicky pokročilý díky dvojitému přeplňování, což mu dávalo masivní výkonový potenciál a agresivní charakter.



Obrázek 1: motor z Ferrari F40

Model	Motor	Výkon	Točivý moment	Max. rychlost	0–100 km/h
Ferrari F40	2,9L V8 biturbo	478 koní	577 Nm	324 km/h	4,1 s
Porsche 959	2,85L plochý šestiválec biturbo	450 koní	500 Nm	317 km/h	3,7 s
Lamborghini Countach 5000 QV	5,2L V12 atmosférický	455 koní	500 Nm	298 km/h	4,7 s
Ferrari 288 GTO (předchůdce F40)	2,8L V8 biturbo	400 koní	496 Nm	305 km/h	4,9 s

Z tabulky je vidět, že F40 překonával konkurenci v maximální rychlosti a výkonu. Například Porsche 959 sice mělo lepší akceleraci díky pohonu všech kol, ale maximální rychlost byla nižší než u F40. Lamborghini Countach 5000 QV s atmosférickým V12 se výkonem blížilo, ale kvůli vyšší hmotnosti a aerodynamice za F40 zaostávalo. [1]

2.2 Zajímavosti

Typická barva pro Ferrari je samozřejmě červená, ale F čtyřicítka se vyráběla i v jiných barvách. Moc hezká je například žlutá tzv. Giallo Fly, dále černá tzv. Nero a modrá tzv. Blu Pozzi, ta je mimochodem tak výjimečná že byl pravděpodobně vyroben jen jeden kus. Vlastníci si své vozy i přelakovávali, takže existuje i bílá a stříbrná varianta. [2]



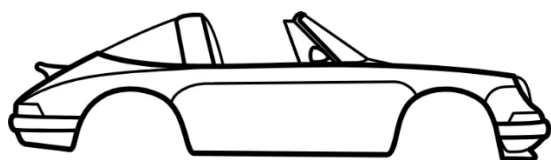
Obrázek 2: Ferrari F40 v žluté barvě

2.3 Typy karoserií

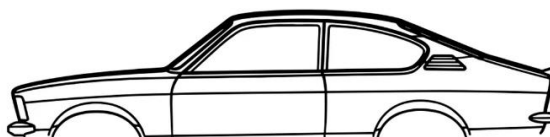
Sportovní auta se vyrábějí v různých typech karoserií, přičemž každá z nich je navržena s ohledem na aerodynamiku, výkon a jízdní zážitek. Kupé je nejčastější karosářská varianta u supersportů, protože pevná střecha zajišťuje lepší tuhost karoserie a tím i lepší ovladatelnost ve vysokých rychlostech. Další variantou jsou roadstery a kabriolety, které nabízejí otevřenou střechu a intenzivnější pocit z jízdy, ale často mají nižší aerodynamickou efektivitu. Targa je kompromis mezi kupé a kabrioletem – má odnímatelný střešní panel, ale stále zachovává pevnou strukturu zadní části. Specifickou kategorií jsou hyperauta, která často využívají monokokovou karoserii z karbonových vláken pro maximální tuhost a minimální hmotnost.

Pro svůj RC model jsem si zvolil karoserii inspirovanou Ferrari F40, protože je to jeden z nejikoničtějších sportovních vozů všech dob. Jeho agresivní a aerodynamicky optimalizovaný design byl ve své době revoluční a dodnes zůstává symbolem čistého výkonu. Ferrari F40 je čistokrevné kupé s extrémně nízkým a širokým profilem, který zajišťuje stabilitu ve vysokých rychlostech. Jeho karoserie je jednoduchá, funkční a dokonale přizpůsobená rychlé jízdě – každý otvor a křivka mají jasný účel. Díky těmto vlastnostem se F40 skvěle hodí jako inspirace pro RC model, který kombinuje aerodynamiku s agresivním vzhledem.

Karoserie Ferrari F40 má několik klíčových prvků, které ji odlišují od jiných sportovních vozů. Nejvýraznějším rysem je obrovské zadní křídlo, které zajišťuje potřebný přítlak ve vysokých rychlostech. Dalším typickým znakem jsou velké ventilační otvory na kapotě a bocích, které pomáhají chladit motor a brzdy. F40 také nemá klasickou zadní kapotu – místo toho je zde průhledný polykarbonátový kryt, který odhaluje motor V8, což bylo ve své době velmi neobvyklé. Zajímavostí je, že dveře, kapota a další části byly vyrobeny z kompozitních materiálů, jako je kevlar a uhlíková vlákna, což pomohlo udržet hmotnost vozu na extrémně nízké úrovni. Díky těmto prvkům je F40 nejen aerodynamicky efektivní, ale také vizuálně nezaměnitelný.



Obrázek 3: silueta targa



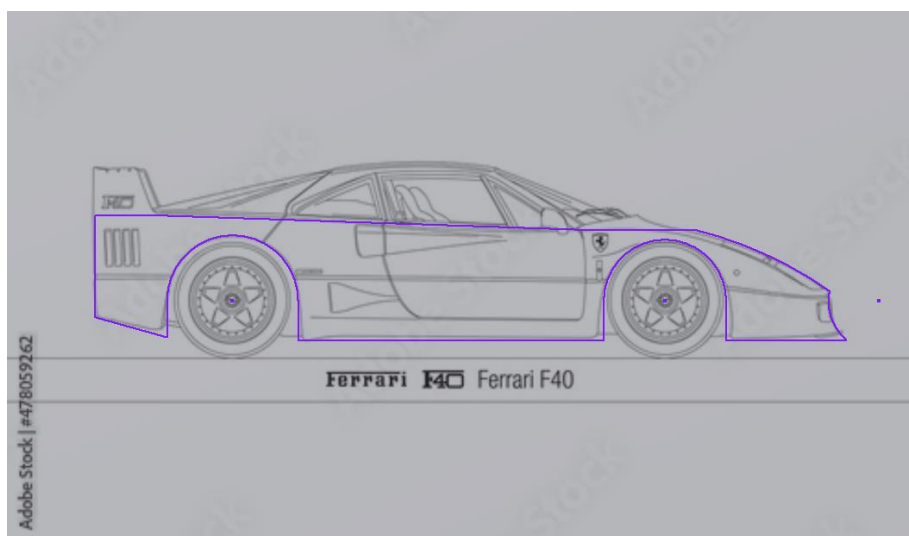
Obrázek 4: silueta kupé

3 NÁVRH RC MODELU

Při návrhu RC modelu inspirovaného Ferrari F40 bylo klíčové zachovat ikonický vzhled originálního vozu a zároveň přizpůsobit konstrukci požadavkům na funkčnost a výrobu pomocí 3D tisku. Návrh zahrnoval nejen tvarování aerodynamické karoserie, ale také konstrukci podvozku, systému řízení a odpružení, které zajistí stabilní jízdní vlastnosti modelu. V této kapitole bude podrobně popsán proces tvorby jednotlivých komponent – od prvotních skic a modelování v CAD softwaru Autodesk Inventor až po finální optimalizaci pro 3D tisk. Důraz byl kladen na pevnost, nízkou hmotnost a jednoduchou montáž, aby model co nejlépe kombinoval vzhled Ferrari F40 s funkčností RC vozu.

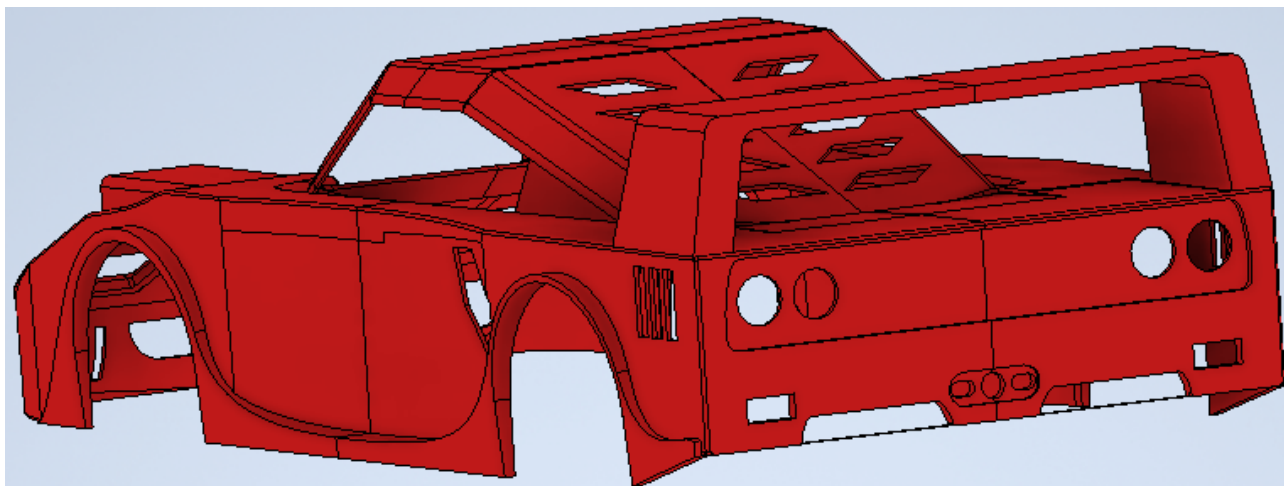
3.1 Návrh karoserie

Myšlenka vytvořit RC model vznikla původně jako snaha navrhnout a vyrobit esteticky propracovanou karoserii pro potenciální RC automobil. Prvním zásadním krokem bylo vytvoření základní skořepiny karoserie, na kterou jsme následně vymodelovali jednotlivé detaily. Nejprve jsme se zaměřili na přední část, kde bylo důležité zachovat typický agresivní design F40. Blatníky byly navrženy tak, aby co nejlépe zvýraznily kola a zároveň podtrhly aerodynamický charakter vozu. Velkou pozornost jsme věnovali výklopným světlům, která jsou ikonickým prvkem tohoto modelu. Kromě designového hlediska jsme při jejich návrhu brali v úvahu i snadnost tisku na 3D tiskárně. Největší komplikace nastala při modelování střechy – kvůli technologickým omezením 3D tisku musela být zcela rovná, což sice mírně narušilo autentický vzhled, ale zajistilo bezproblémovou výrobu. Po dokončení návrhu karoserie jsem s pomocí pana Blažíčka poslal karoserii na tisk, stejným způsobem lze vyrobit i další součásti vozu. Tento objev mě motivoval k tomu, abych se pustil do návrhu kompletního modelu včetně podvozku, odpružení a pohonného systému 4x4. Výsledkem měl být funkční sportovní RC model.



Obrázek 5: první obrys při modelování karoserie

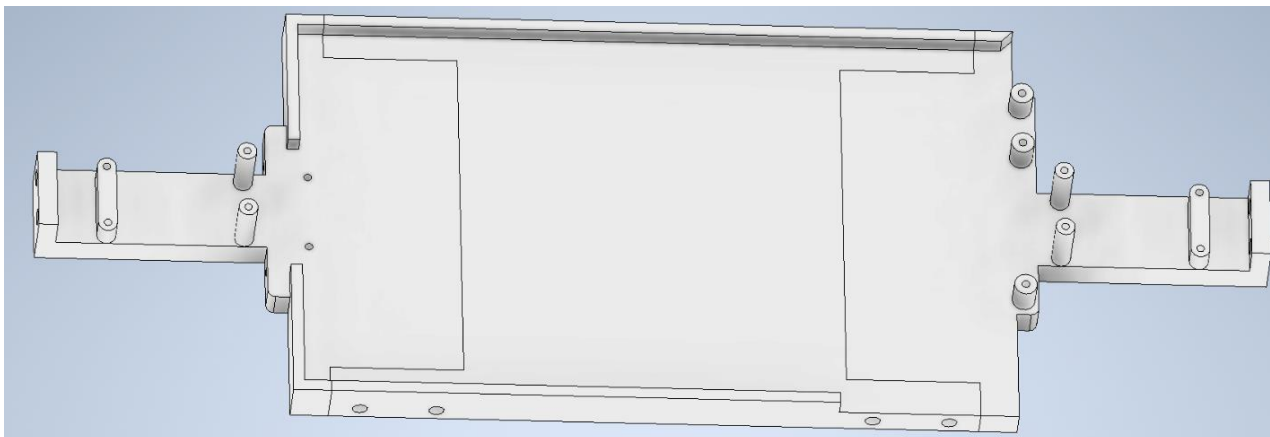
Karoserie byla v CAD softwaru modelována jako jeden díl, ovšem z důvodů omezeného prostoru 3D tiskárny byla karoserie rozdělena na 6 kusů. Pro sestavení těchto kusů jsem přidal konstrukční prvky aby se těchto 6 částí dalo jednoduše spojit do jedné karoserie. Blatníky, nárazníky či křídlo jsou součástí vyšších celků. Dneska bych však řekl, že lepším řešením by bylo tisknout tyto komponenty zvlášť. Vše by se nakonec spojilo do jedné karoserie, byla by masivnější a lépe by se s ní pracovalo hlavně co se tisku týče. Na druhou stranu karoserie vypadá lépe jelikož nejde vidět žádné napojování blatníků, nárazníku atd..



Obrázek 6: karoserie pohled zezadu

3.2 Návrh podvozku

Podvozek je jednou z nejdůležitějších částí celého RC modelu, protože slouží jako základní nosná konstrukce, na kterou se upevňují všechny klíčové komponenty – motory, elektronika, RC modul, baterie, odpružení a kola. Při návrhu bylo nutné zajistit dostatečnou pevnost a stabilitu, aby podvozek vydržel dynamické zatížení během jízdy. Zároveň bylo důležité ponechat dostatek prostoru pro upevnění jednotlivých součástí, aby montáž probíhala bez komplikací a bylo možné v případě potřeby provádět snadné úpravy. Při návrhu jsem se zaměřil na optimální rozvržení jednotlivých prvků s ohledem na vyvážené rozložení hmotnosti. Podvozek je navržen tak, aby umožňoval upevnění motorů v zadní části a zároveň měl dostatek místa pro elektroniku a baterie uprostřed. Dále jsem přidal montážní otvory pro zavěšení kol a odpružení, které zajišťují stabilitu při jízdě. Na obrázku je vidět, že podvozek obsahuje vyztužené hrany pro zvýšení pevnosti a několik upevňovacích bodů pro přesné uchycení dalších komponent. Kvůli omezené velikosti tiskové plochy 3D tiskárny bylo nutné podvozek rozdělit na tři části, které se následně spojí dohromady pomocí čepů, které zasadíme do děr na bocích podvozku.



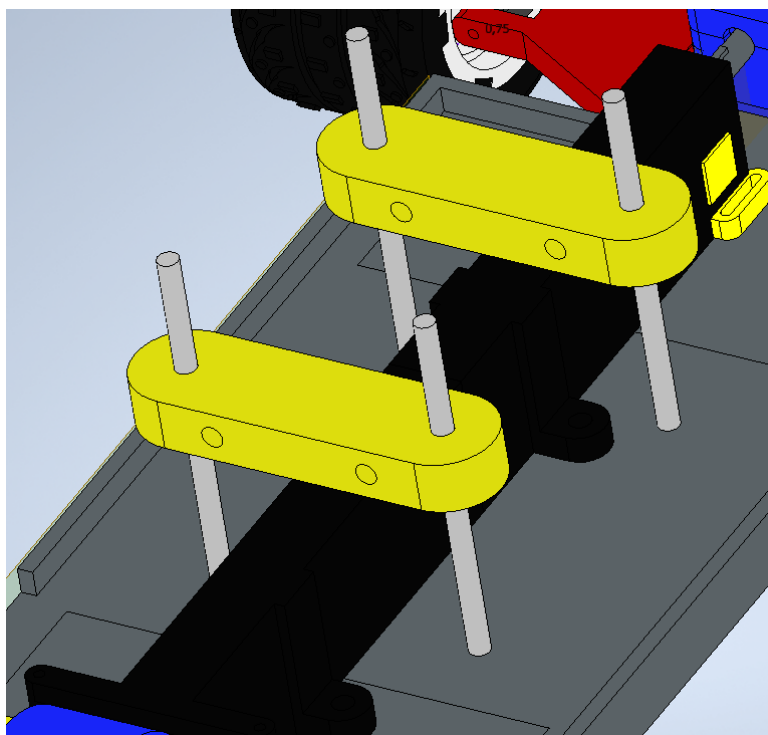
Obrázek 7: podvozek pohled ze shora

Důležitým aspektem bylo zajistit co největší podíl výroby pomocí 3D tisku. Normalizované komponenty, jako jsou šrouby, matice či elektronické součástky, bylo možné zakoupit, zatímco všechny ostatní díly byly modelovány v Autodesk Inventor a optimalizovány pro 3D tisk.

3.3 Upínák pro karoserii s podvozkem

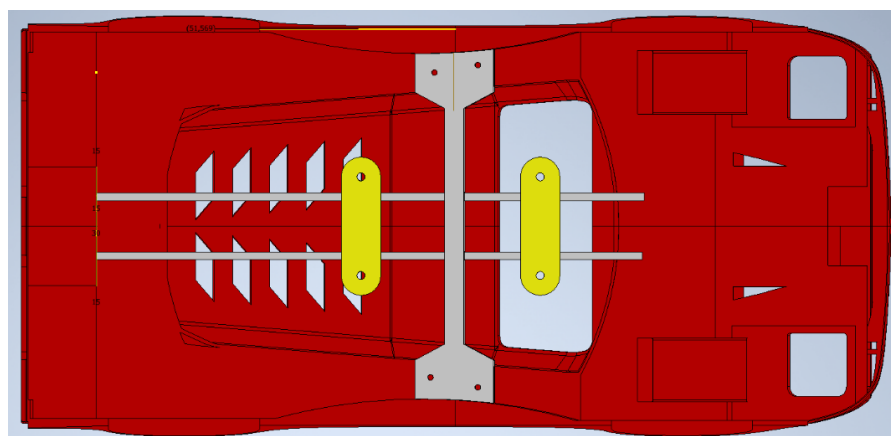
Upínák, který se nachází na podvozkové části je konstruován ze 4 závitových tyčí M5, které jsou k podvozku přichyceny maticemi. Drží pevně svislou polohu a jsou uloženy pro úchyty ke karoserii.

Žluté upínáky hrají klíčovou roli pro propojení karoserie s podvozkem (v horním a dolním obrázku jsou žluté upínáky stejná součást).

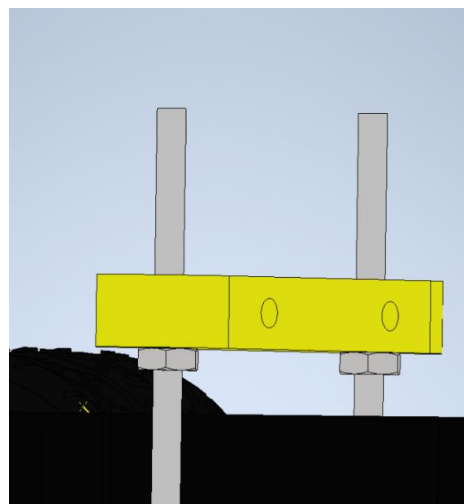


Obrázek 8: upínák na podvozkové části

Druhá část upnutí je umístěna na karoserii. V konstrukci karoserie je umístěno uložení pro závitové tyče M5, které vedou skrz most, který jsem zkonstruoval speciálně pro zajištění vodorovné polohy závitových tyčí. Tyto tyče jsou uloženy pro zmiňované součásti (žluté barvy na obrázku). Pro přesnou polohu a vymezení výšky mezi upínákem a podvozkem byly použity samojistící matice.



Obrázek 9: upínka na karoserii

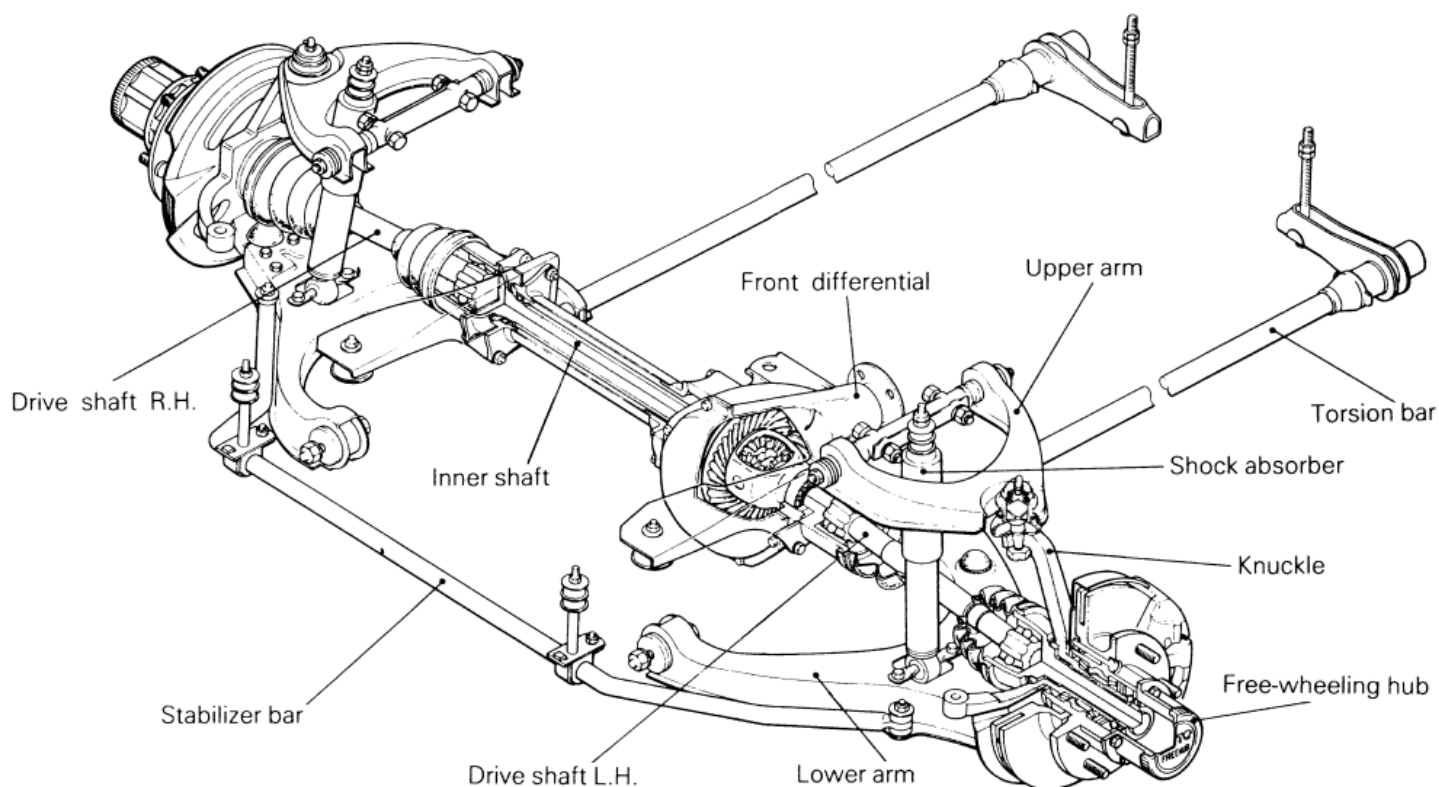


Obrázek 10: upínák pohled na matice

4 NÁVRH ŘÍZENÍ A ODPRUŽENÍ

4.1 Popis lichoběžníkové nápravy

Pro lepší pochopení se seznámíme s pojmy, jak vypadá a co obsahuje náprava:



Obrázek 11: obrázek nápravy s pojmy

Obrázek je sice v angličtině, ale má informace, které potřebujeme.

Differential – **diferenciál** a jeho funkci jsme si už popisovaly

Knuckle – **těhlice** spojuje ramena zavěšení, kolo a řízení, umožňuje otáčení kolem své osy

Drive shaft – hnací hřídel neboli **poloosa**, přenáší kroutící moment na kolo vozu a je upevněna v těhlici

Lower/Upper arm – dolní/horní **rameno** spojuje rám vozu s těhlicí a umožňuje svislý pohyb nahoru dolů

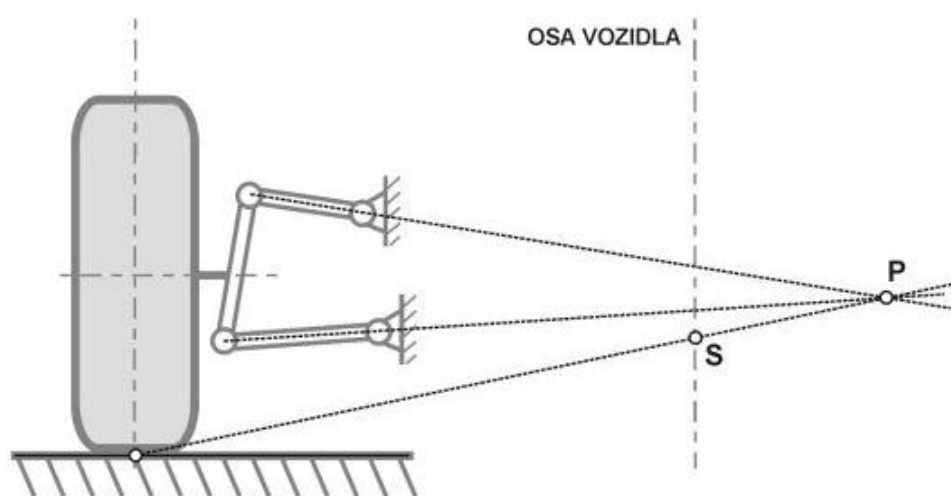
Shock absorber – **Tlumiče** tlumí nárazy, vibrace, zajišťují komfort

Stabilizer bar – **stabilizátor** snižuje náklony vozidla při průjezdu zatáčkou, jakmile jde jedno kolo do stlačení (nahoru) stabilizátor přenesse část zatížení i na druhé kolo. [3]

Lichoběžníkové zavěšení je realizováno pomocí dvou nestejně dlouhých příčných ramen, přičemž horní rameno je kratší. Prostřednictvím těchto ramen jsou kola zavěšena k nápravnici, rámu, případně skříni rozvodovky. Vhodnou volbou vzájemného poměru délky obou ramen lze dosáhnout velmi příznivé kinematiky. Lichoběžníková náprava je vhodná jako řídicí a zároveň může být použita i jako hnací. Jelikož se toto zavěšení skládá z mnoha prvků, lze velmi snadno změnou polohy jednotlivých bodů (úchyťů) cíleně ovlivňovat různé vlastnosti. Geometrie zavěšení je důležitá pro správné vedení kola jak při přímé jízdě, tak při průjezdu zatáčkou tak aby kolo bylo co nejvíce v kontaktu s vozovkou. [4], [5]

4.1.1 Hlavní konstrukční prvky

Lichoběžníková náprava je tvořena horním a dolním trojúhelníkovým ramenem. V průmětu do příčné svislé roviny tato ramena tvoří lichoběžník, odtud vznikl název nápravy. Konce obou ramen jsou spojeny čepem, na kterém je uloženo kolo.



Obrázek 12: kinematické schéma lichoběžníkové nápravy

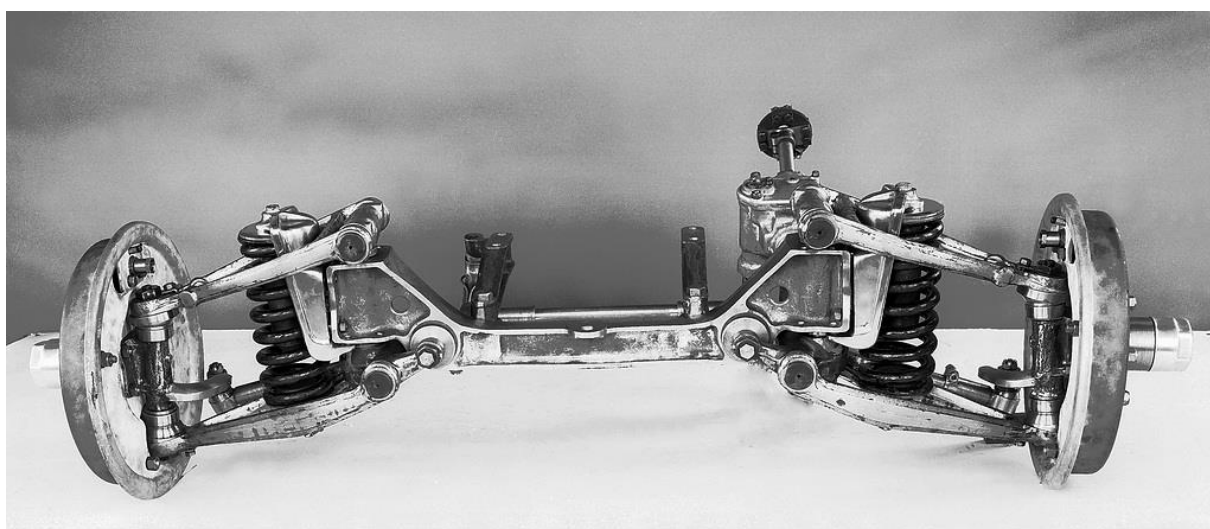
Při propružení lichoběžníkové nápravy dochází ke změně odklonu kola, sbíhavosti kol i změně rozchodu kol. Všechny tyto změny mají vliv na jízdní

vlastnosti automobilu, vhodnou volbou geometrie ramen můžeme tyto vlivy optimalizovat. Například leží-li okamžitý střed klopení kola P daleko od kola, pak při propružení vznikají jen malé změny odklonu a rozchodu kol, což je dobré pro jízdní vlastnosti. Pro malé výchylky se pohyb kola určí opsáním kružnice z bodu P do stopy kola. Bod S je střed klopení karoserie. Vozidlové pružiny jsou většinou uloženy na spodním ramenu, protože spodní rameno vzhledem ke své větší délce koná při propružení menší úhlové pohyby, pružina tak může být pevně vetknuta do ramene. Pokud by byla pružina uložena na horním ramenu, musela by být uložena kloubově, aby nevznikalo příliš velké vyboulení pružiny při jejím stlačení. [5]

4.1.2 Úpravy délky ramen a vliv na jízdní charakteristiky

Před tím, než začneme s vysvětlováním si ujasníme některé pojmy:

1. **Odklon:** Odklon je úhel, ve kterém je kolo nakloněno do stran oproti svislé ose vozidla. Existují dva základní typy:
Záporný odklon: Horní část kola směřuje více dovnitř, vůči karoserii. Při zatáčení se tak větší část pneumatiky dotýká vozovky, což zvyšuje stabilitu v zatáčkách.
Kladný odklon: Horní část kola je více směrem ven. Tento stav se však u sportovních i RC aut obvykle nevyužívá, protože snižuje kontakt pneumatiky s vozovkou a stabilitu.
2. **Sbíhavost:** popisuje směr natočení kol ve směru jízdy. **Sbíhavost** je, když jsou přední části kol více k sobě. Mírná sbíhavost se využívá, protože vede k lepší stabilitě a přesnějšímu ovládání. **Rozbíhavost** nastává, když jsou přední části kol dál od sebe.



Obrázek 13: ukázka lichoběžníkové nápravy

Úprava délek ramen (horního a dolního) je nejčastější způsob, jak ovlivnit geometrii zavěšení a získat lepší a předvídatelnější jízdní vlastnosti automobilu.

Pokud **zkrátíme horní rameno**, změní se úhel, pod kterým se kolo přibližuje k ose vozidla. Může dojít ke zvýšení záporného odklonu. Důsledkem může být lepší přilnavost v zatáčkách, protože se více pneumatiky dostává do kontaktu s vozovkou. Nicméně příliš extrémní nastavení může způsobit nerovnoměrné opotřebení pneumatik a zhoršení stability. Naopak **prodloužení horního ramene** snižuje záporný odklon, což vede k menšímu kontaktu pneumatiky se zemí v zatáčkách, ale může přinést lepší celkovou stabilitu při rovné jízdě. Délka dolního ramene rovněž ovlivňuje tzv. "roll center" (bod, kolem kterého se auto při zatáčení naklápí). Prodlužování dolního ramene může posunout roll center směrem dolů, což může zlepšit komfort jízdy, ale na úkor přesnosti v řízení. Přesná optimalizace zahrnuje sladění nastavení horních a dolních ramen, aby se dosáhlo rovnováhy mezi stabilitou a agilností. Pro upravování sbíhavosti a rozbíhavosti je potřeba použít třetí rameno. Tímto ramenem a jeho délkou můžeme nastavit úhel sbíhavosti / rozbíhavosti. Na přední nápravě je místo tohoto ramene spojovací tyč řízení, jeho výchozí délkou nastavíme sbíhavost předních kol.

4.2 Řešení nápravy u Ferrari F40

Konstrukce lichoběžníkové nápravy na Ferrari F40 není žádná kopie běžných řešení určených pro klasické vozy. Byl optimalizován pro vysokou rychlost přesnost v řízení a maximální ovladatelnost a také maximální odolnost.

4.2.1 Přední náprava

Použití dvou ramen s rozdílnou délkou jak je u lichoběžníkové nápravy zvykem. Ramena jsou trojúhelníková (široce rozvidlená) kvůli optimální tuhosti a přesnému vedení kola. Z prostorových důvodů je tlumič s pružinou upevněn k dolnímu ramenu, díky tomuto je zástavbová výška nápravy nižší.

Řízení je hřebenové – proti šnekovému zajišťuje přesné vedení vozidla řidičem.

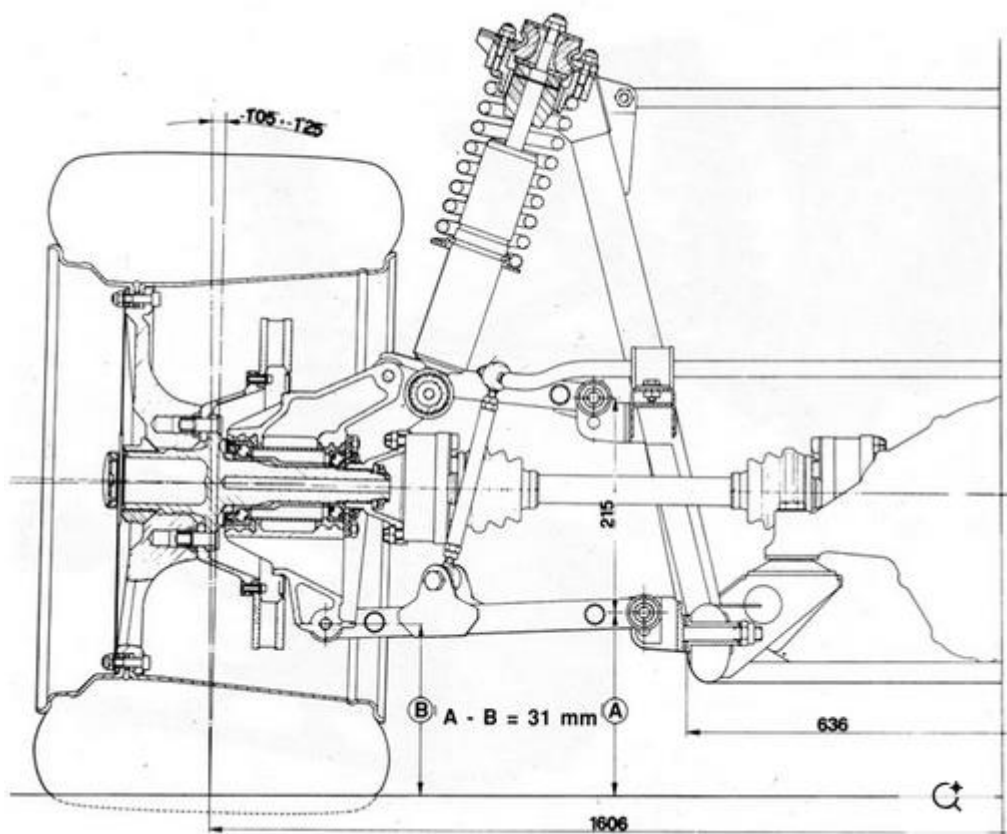
Těhlice jsou s hřebenem řízení spojeny spojovací tyčí. [6]



Obrázek 14: vizualizace přední nápravy Ferrari F40

4.2.2 Zadní náprava

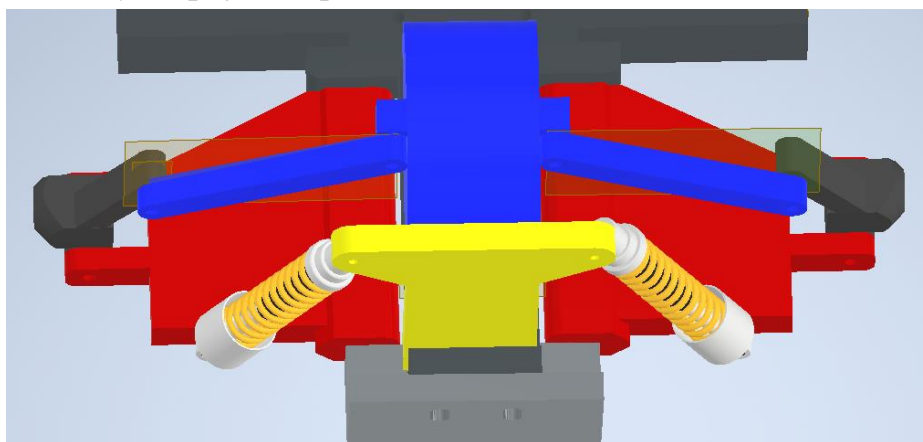
Princip Zadní nápravy je podobný jako u přední to jest lichoběžníková náprava. Požadavky jsou ale jiné proto i samotná konstrukce vypadá jinak. Zadní kola nejsou zatáčecí, ale jsou hnaná. Poloosa která pohání kola je dominantní část nápravy. Ramena jsou opět ve tvaru trojúhelníku kvůli tuhosti. Na obrázku jde vidět, že je nastavený menší odklon aby auto mělo lepší kontakt s vozovkou a to i během zatáčení. Veliký rozdíl oproti přední nápravě je, že zde je tlumič uchycený až za horní rameno a poté je uchycený na nepohyblivou věž, která je součástí karoserie. Tlumič je mnohem větší a zabírá daleko více místa. Poslední prvek na zadní nápravě je stabilizátor, který snižuje náklony vozidla při průjezdu zatáčkou, jakmile jde jedno kolo do stlačení (nahoru) stabilizátor přenesení část zatížení i na druhé kolo. [7]



Obrázek 15: náčrtek zadní nápravy Ferrari F40

4.3 Řešení na našem modelu

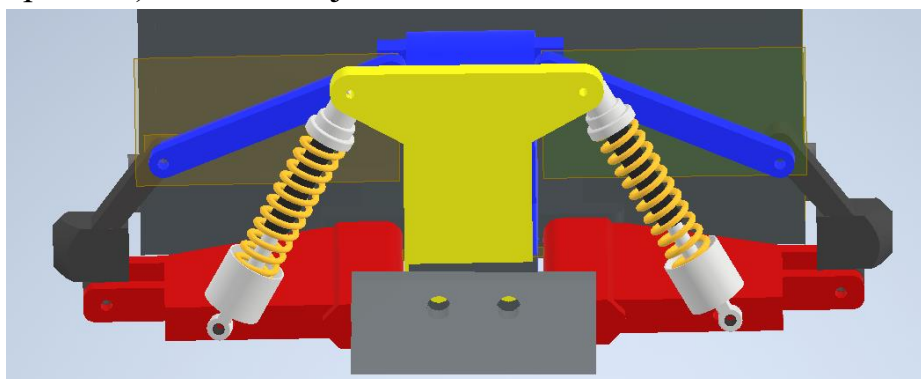
Obě naše nápravy jsou lichoběžníkové a chtěl jsem, aby se daly jednoduše vytisknout na 3D tiskárně a aby na všechny spoje, které se budou pohybovat během propružení, mohly být použity kulové čepy. To vyžadovalo zkonstruovat jednoduchou lichoběžníkovou nápravu. Začneme součástmi, které jsou na obou nápravách stejné, a to je to, že pružina je uchycená na spodním ramenu a na horním uložení tlumiče, které je součástí podvozku, proto je spodní rameno nápravy masivní, aby vydrželo napětí, které na něj bude vytvářet tlumič. Tlumiče jsme koupili na RC Hobby eshopu běžné, které se používají na podobně těžké RC modely. Rameno je uchyceno dvou milimetrovým čepem, který je válcovou vazbou pro rameno. Jako zakončení uložení čepu jsem navrhl nárazník, který je zajištěn šroubovým spojem k podvozku.



Obrázek 13: zadní náprava modelu pohled ze shora

4.3.1 Zadní náprava

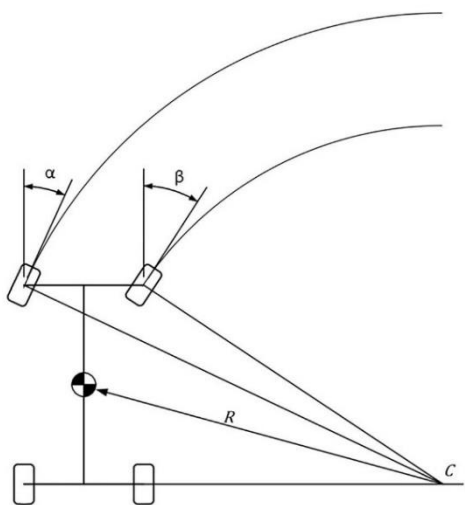
Řešení zadní nápravy je o něco jednodušší než přední, protože není řízená. Horní rameno je uchyceno na krytu diferenciálu a směřuje mírně dolů, to znamená, že při naklonění auta do zatáčky bude větší kladný odklon. Má jen důležitý vliv na geometrii, ale žádné velké napětí na něj nepůsobí. Těhlice na kterou budou uložena kola je uchycená v horním a dolním rameni pomocí válcových vazeb, proto zde není použito rameno kontrolující sbíhavost nápravy v průběhu zdvihu kola (propružení) a sbíhavost je stále konstatní.



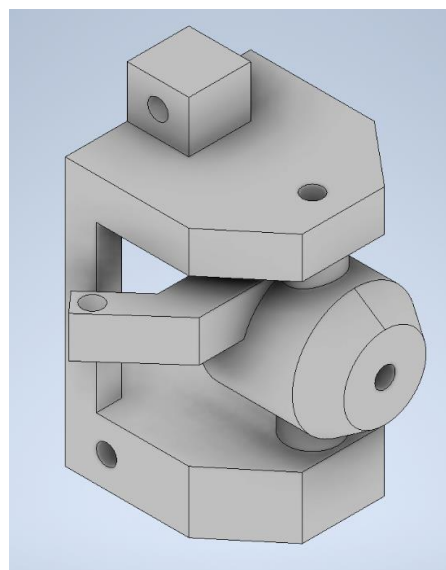
Obrázek 14: zadní náprava pohled zezadu

4.3.2 Přední náprava

Řešení přední nápravy má stejný princip jako zadní. Horní rameno je také uchyceno na kryt diferenciálu, ale těhlice má jinou konstrukci, kvůli řízení. Těhlice je sestavena ze dvou částí – **klec** dovoluje propnutí, svislý pohyb nahoru a dolů; **náboj** dovoluje vodorovný pohyb doprava a doleva, které ovládáme táhly, které jsou řízeny servomotorem. Při průjezdu zatáčkou každé kolo opisuje jinou kružnici, a proto každé kolo musí mít jiný úhel natočení kol ($\alpha < \beta$) tzv Ackermanova podmínka. Specificky zahnutým tvarem **páky** náboje zajistíme, aby každé kolo zatáčelo jiným úhlem. Servomotor určuje úhel natočení kol, který je 30° (podobně jako u skutečného vozu Ferrari F40) [8]

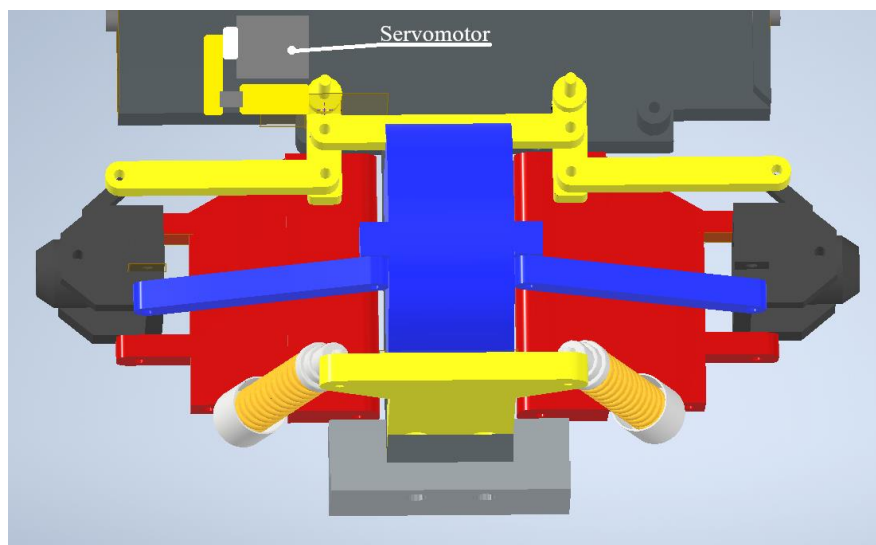


Obrázek 16: opisná kružnice při zatáčení



Obrázek 17: přední těhlice

Řízení, jak už bylo zmíněno ovládá servomotor a pohyb přenáší 4 táhla až k těhlici kde se pohybuje kolo. Na obrázku můžeme vidět zmiňovanou konstrukci řízení.



Obrázek 18: přední náprava pohled ze shora

Geometrie ramen je podobná jako u zadní nápravy to znamená, že při propružení má geometrie kola kladný odklon. Výchozí polohou řídících táhel upravujeme sbíhavost, zde jsme nastavili mírnou sbíhavost, jelikož pomůže přesnému řízení.

5 EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ – 1. ČÁSTI

Při výrobě byl použit filament PETG, PLA a na pneumatiky TPU

Pro ekonomické vyhodnocení byly použity ceny filamentů, 600 Kč za kilogram PETG. Karoserie modelu byla vytištěna z PETG o hmotnosti 520 gramů. Při ceně 600 Kč/kg (což odpovídá 0,6 Kč/g) činí náklady na filament pro karoserii 310 Kč. Podvozek, rovněž vytištěný z PETG, váží 600 gramů, což při stejné ceně znamená náklady ve výši 360 Kč.

Tlumiče jsme kupovali na RC hobby eshopu a stály 200 Kč.

Celkové náklady na materiál použité pro tisk modelu tedy dosahují částky 870 Kč. Tento součet zahrnuje veškerý použitý filament pro karoserii, podvozek, pneumatiky i kola.

6 ZÁVĚR – 1. ČÁSTI

V rámci své části práce jsem se zaměřil na návrh, výrobu a sestavení RC modelu inspirovaného vozem Ferrari F40. Cílem bylo vytvořit funkční model s důrazem na co největší vizuální podobnost s originálním vozem a využít při tom znalosti z oblasti 3D modelování, 3D tisku a mechanické konstrukce.

Většina součástí modelu byly navrženy v programu Autodesk Inventor a následně vytištěny pomocí 3D tiskárny. Během práce jsem získal cenné zkušenosti nejen s navrhováním a výrobou dílů, ale také s laděním a montáží celého systému včetně pohonného ústrojí.

Model je plně funkční a splňuje všechny požadavky, které jsem si na začátku stanovil. Přestože během realizace došlo k několika technickým problémům (např. s přesností tisku nebo uchycením některých dílů), podařilo se mi je úspěšně vyřešit.

Tato práce mi umožnila propojit teoretické znalosti se skutečnou praxí a zároveň mě motivovala k dalšímu rozvoji v oblasti konstrukce a modelářství. Do budoucna bych model rád ještě vylepšil například rozdělením karoserie na více dílů a netisknout ji jako jeden velký kus, lepší geometrii lichoběžníkové nápravy konkrétně posunout pevný bod horního ramene více dolů a získat tak lepší jízdní vlastnosti.

7 ČÁST 2. – PŮVOD A POROVNÁNÍ RC MODELU SE SKUTEČNÝM VOZEM

Náš RC model je inspirovaný skutečným vozem Ferrari F40. F40 je ikonický sportovní vůz, a i když už je relativně starý, mi jsme stále uchvázeni jeho designem. Postavil základy moderním sportovním automobilům. RC autíčka jsou zmenšeniny takových to úžasných aut, aby si nadšenci mohli jezdit alespoň se levnější verzí takového automobilu. Při návrhu svého RC modelu jsem se snažil co nejvíce přiblížit ikonickému designu Ferrari F40. Skutečné auto má aerodynamicky velice propracovanou karoserii s nízkým profilem, agresivním čelním nárazníkem a výrazným zadním křídlem. Můj model zachovává charakteristické tvary F40, včetně hranaté siluety a zadního křídla. Vzhledem k technologii 3D tisku jsem musel některé detaily zjednodušit, ale celkový vzhled modelu odpovídá originálu.

Náš vůz je oproti Ferrari zmenšený 1:10. Ferrari dosahovalo rychlosti 324 km/h a z 0-100 km/h dosáhlo za 4,1 sekundy. Naše auto má maximální rychlost 30 km/h, takže zrychlení řešit nebudeme, i když díky elektromotoru je opravdu veliké. Zatímco Ferrari F40 se ovládá volantem, pedály a manuální převodovkou, náš RC model je, jak už název napovídá ovládán dálkově, které umožňuje řízení předních kol a regulaci rychlosti díky regulátoru otáček našeho elektromotoru. U skutečného vozu musí řidič zvládnout fyzické síly působící při jízdě, zatímco u RC modelu jde hlavně o precizní ovládání a nastavení podvozku. I když v modelu není interiér jako ve skutečném F40, snažil jsem se zachovat co nejvíce realistických detailů v exteriéru.



Obrázek 19: skutečný vůz Ferrari F40

7.1 Pohon

Ferrari F40 je hnané na zadní nápravu. My jsme však šli jiným směrem. Chtěli jsme vyzkoušet něco jiného, proto jsme se rozhodli, že náš RC model bude mít pohon 4x4 všech 4 kol. znamená to, že v této oblasti naše inspirace není. Raději jsme se podívali na internet a fyzicky na jiné modely aut abychom věděli, jak zajistit náš cíl: pohon všech 4 kol, odpružené obě nápravy. Přitom když auto mění směr jízdy a zatáčí se přední kola, musí být stále hnaná a zvládat i pružení. Aby všechno fungovalo správně jsme se raději inspirovali už existujícími modely. Jen abychom věděli, jak to vyrobit správně, jelikož bychom stejně vymýšleli věci, které dávno fungují a používají se. V našem modelu budeme používat už zmíněný 380W elektromotor s frekvenčním měničem, pro regulaci otáček. Pomocí ozubení bude přenášet kroutící moment na hřídel, která bude přenášet kroutící moment jak na zadní, tak i přední nápravu. U každé nápravy je jeden diferenciál tudíž budou na celém modelu dohromady dva diferenciály mezi nápravovými diferenciály se na některých skutečných vozech dělá, ale my ho pro funkčnost auta nepotřebujeme. Co se přesně odehrává u v samotné nápravě a jak zde funguje zatáčení a odpružení řeší podrobněji kolega Mišaga ve své části práce. Zjednodušeně ocelový kardan zvládne přenášet kroutící moment i když zrovna pojedeme přes nerovnost a rovina kardanu se změní.

Pneumatiky jsou z jiných materiálů, než pneumatiky u skutečného vozu ale jejich design je prakticky stejný. Brzdový systém jsme nemuseli nějak řešit, jelikož naše auto nebude svou rychlostí nebezpečné pro své okolí navíc díky tomu, že elektromotor má veliký odpor stačí jen pustit plyn a RC autíčko se relativně rychle zabrzdí.

Jak už jsme zmiňovali většina částí na našem modelu je vyrobená pomocí 3D tisku. Další součásti jako matice, závitové tyče a kardany, pružiny, diferenciál a soukolí.



Obrázek 20: diferenciál



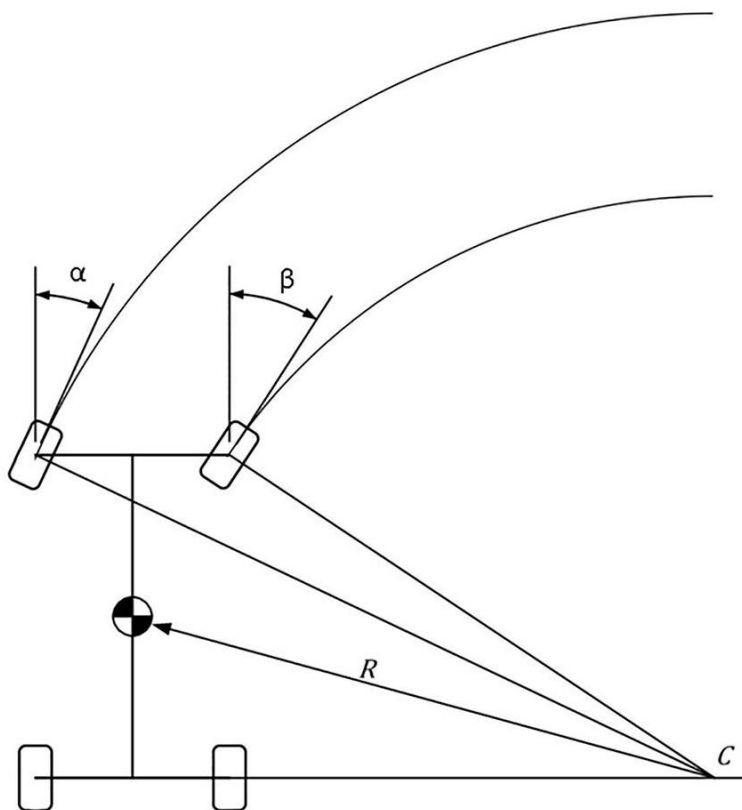
Obrázek 21: kardan

8 NÁVRH RC MODELU

Moje část práce na našem RC modelu obsahuje práci na návrhu a výrobě pohonu automobilu, s tím spjatou elektroinstalaci a návrh designových doplňků na naší karoserii, kterou navrhl kolega Mišaga. Dále návrh a výroba pneumatiky na náš RC model, která opět je inspirována designem pneumatik na skutečném voze Ferrari F40.

8.1 Návrh diferenciálního pohonu

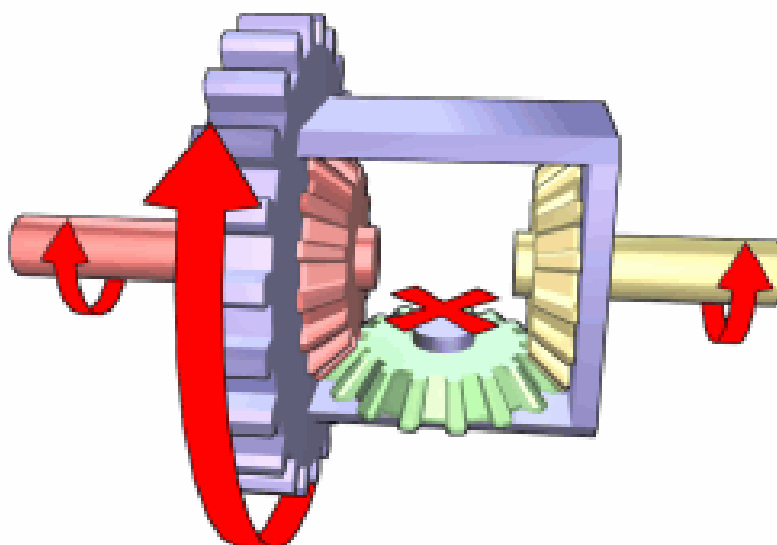
Diferenciál byl vynalezen již v roce 1827 francouzským inženýrem Onésiphorem Pecqueurem, ale jeho široké využití v automobilech nastalo až s rozvojem motorových vozidel na konci 19. století. Jeho hlavní funkcí je umožnit kolům na jedné nápravě otáčet se rozdílnou rychlostí, což je klíčové zejména při zatáčení. Kdy vnitřní kolo opisuje menší kružnici než kolo vnější, tudíž je potřeba aby se vnitřní kolo otáčelo pomaleji než kolo vnější. Bez diferenciálu by v zatáčkách vnitřní kolo muselo prokluzovat nebo by docházelo k nežádoucímu namáhání hnací soustavy. Dnes je diferenciál součástí všech automobilů, protože zajišťuje plynulou a stabilní jízdu. Když vnitřní kolo opisuje menší kružnici, než kolo vnější je také potřeba aby vnitřní kolo mělo větší úhel zatáčení než vnější. ($\alpha < \beta$). O tom však mluví už kolega Mišaga ve své práci a toto není úloha diferenciálu. [1]



Obrázek 22: pohled se shora na auto, které zatáčí

8.1.1 Funkce diferenciálu

Diferenciál je defacto planetová převodovka, má 2 stupně volnosti. Modře je vybarveno talířové kolo s unašečem satelitů. Toto kolo může být poháněno buď přímým ozubením od sousedního pohonu, jako na obrázku, nebo má kuželový převod od pohonu s kolmým hřídelem. Satelit (zelený), je vloženým stupněm volnosti, který zapadá do ozubení dvou planetových kol, přes něž jsou poháněny dvě hřídele. Jedna z hřídelí prochází talířovým kolem, druhá unašečem satelitů (pro zjednodušení je zde vyobrazen pouze jeden satelit, ve skutečném diferenciálu jsou minimálně dva satelity). [2]



Obrázek 23: ilustrace funkce diferenciálu

8.1.2 Integrace diferenciálu do našeho modelu

Při konstrukci našeho RC modelu jsme se rozhodli použít diferenciál, abychom dosáhli realističtějších jízdních vlastností a lepší ovladatelnosti. Bez něj by model hůře zatáčel, kola by prokluzovala a jízda by nebyla plynulá. Na pohon se 4x4 se obvykle používají 3 diferenciály, na každou nápravu jeden a jeden mezi nápravami, a to z důvodu, že každá náprava opisuje jinou kružnici. V našem modelu jsem po rozmýšlení uznal, že mezinápravový diferenciál nebude potřeba, protože naše pneumatiky jsou vyrobeny z materiálu, který se dokáže lehce smýkat po povrchu vozovky. Vzhledem k tomu, že výroba diferenciálu vlastními silami by byla složitá a vyžadovala přesné obrábění, rozhodli jsme se zakoupit hotový diferenciál. Tento krok nám umožnil soustředit se na ostatní části modelu a zajistil spolehlivou funkčnost pohonu. Na koupený diferenciál jsem pouze vymodeloval a zhotovil skříň, aby se diferenciál dal jednoduše uložit na náš podvozek a aby ho skříň chránila před znečištěním.

8.1.3 Hnací hřídel

Náš RC model má pohon 4x4 (má hnaná všechna kola). Aby to bylo možné, musí zde být dlouhá hřídel, která přenáší Výkon motoru do obou náprav našeho automobilu. Na to abychom si byli jisti, že hřídel vytisknutá na 3D tiskárně vydrží zatížení. Musel jsem provést kontrolu na krut.

Hřídel je dlouhá 219 mm a má průměr $d = 5 \text{ mm}$

Část, která je namáhána na krut je dlouhá 200 mm, jelikož hnané ozubené kolo je blízko uložení hřídele může se jeho působení na ohyb zanedbat. Hnací ozubené kolo má 18 zubů a 12 mm průměr, hnané ozubené kolo má 45 zubů a 30 mm průměr

Modul zubů ozubených kol: $m = \frac{2}{3} \text{ mm}$

Otáčky motoru: $n_1 = 9\,000 \frac{\text{ot.}}{\text{min}}$

Převodový poměr: $i = \frac{D_{02}}{D_{01}} = \frac{30}{12} = 2,5$

Otáčky na hřídeli: $i = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow n_2 = \frac{n_1}{i} = \frac{9\,000}{2,5} = 3\,600 \frac{\text{ot.}}{\text{min}} = 60 \frac{\text{ot.}}{\text{s.}}$

Úhlová rychlost: $\omega_2 = 2\pi \cdot n_2 = 2\pi \cdot 60 = 120 \cdot \pi \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$

Napětí $U = 7,4 \text{ V}$

Proud $I = 10 \text{ A}$

Výkon elektro motoru $P = U \cdot I = 7,4 \cdot 10 = 74 \text{ W}$

Napětí v krutu budeme počítat:

$$\tau_k = \frac{M_{k2}}{W_{k2}} = \frac{\frac{P}{\omega_2}}{0,2 \cdot d^3} = \frac{\frac{74}{120 \cdot \pi} \cdot 10^3}{0,2 \cdot 5^3} = 7,85 \text{ MPa}$$

Dovolené napětí v tahu pro materiál PETG: $\sigma_{pt} = 53 \text{ MPa}$ [3]

Míra bezpečnosti $k = 2$

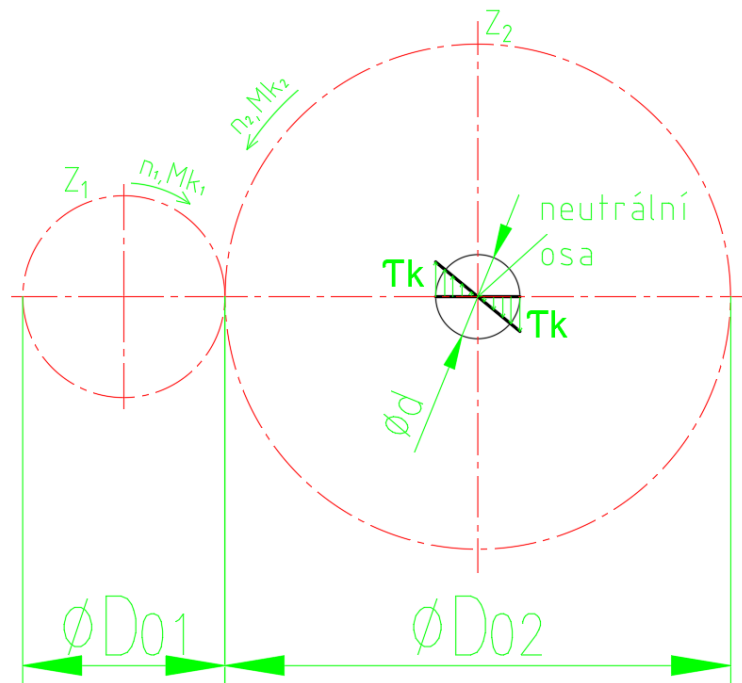
Budeme počítat maximální dovolené napětí v krutu pro střídavé zatížení (motor se bude točit po směru hod. ručiček i proti).

$$\sigma_{tD(I)} = \frac{\sigma_{pt}}{k} = \frac{53}{2} = 26,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{kD(I)} = 0,7 \cdot \sigma_{tD(I)} = 0,7 \cdot 26,5 = 18,55 \text{ MPa}$$

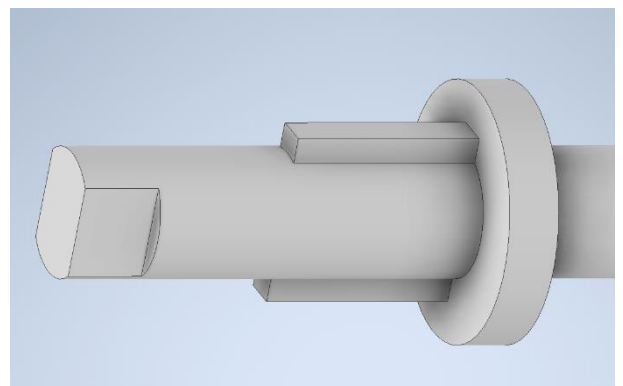
$$\tau_{kDIII} = 0,45 \cdot \tau_{kD(I)} = 0,45 \cdot 18,55 = 8,35 \text{ MPa}$$

$$\tau_k \leq \tau_{kDIII} ; 7,85 \text{ MPa} \leq 8,35 \text{ MPa} \text{ } \textit{Vyhovuje}$$



Hřídel je tvarově upravená. Má dvě drážky, aby se do ní mohlo nasunout hnané Ozubené kolo.

Konec hřídele má na obou stranách zploštělé konce. Na tento konec se nasune kolo s kuželovým ozubením (hruška), které spolu zabírá s kolem diferenciálu (talíř).



Obrázek 24: konec hřídele

8.2 Návrh mechatroniky

Mechatronika v našem autě je řešena poměrně jednoduše. Byla by určitě postavit mechatroniku na základě mikrokontroleru arduino a mít tak zkušenost i s programováním, ale většinou se signál na dálku přenáší pomocí infračerveného záření, to má výhodu že auto lze ovládat pomocí mobilního telefonu, na druhou stranu má maximální dosah 10m a v cestě mezi autem a ovladačem nesmí být žádná překážka jinak se signál přeruší. Pro náš automobil je to jednoduše nedostačující a chtěli jsme abychom pro ovládání automobilu používali ovladač typický pro auta s dálkovým ovládáním (obrázek č.7).



Obrázek 25: typický dálkový ovladač

8.2.1 Baterie

Všechny naše funkční elektrické komponenty jsou poháněny elektrickým stejnosměrným proudem díky akumulátoru o kapacitě 1100 mAh, ale tento akumulátor je už použitý a vydrží pohánět model jen několik sekund, proto chceme pořídit nový akumulátor s kapacitou 2000 mAh se stejným napětím 7,4 V. Elektromotor o výkonu 74 W není jeden z nejvýkonnějších na RC modelech, ale pro naše potřeby je dostačující. Až budeme testovat maximální rychlost uvidíme, jak moc se přiblížíme rychlosti 30 km/h. S aktuálním akumulátorem nelze určit.

8.2.2 Elektromotor

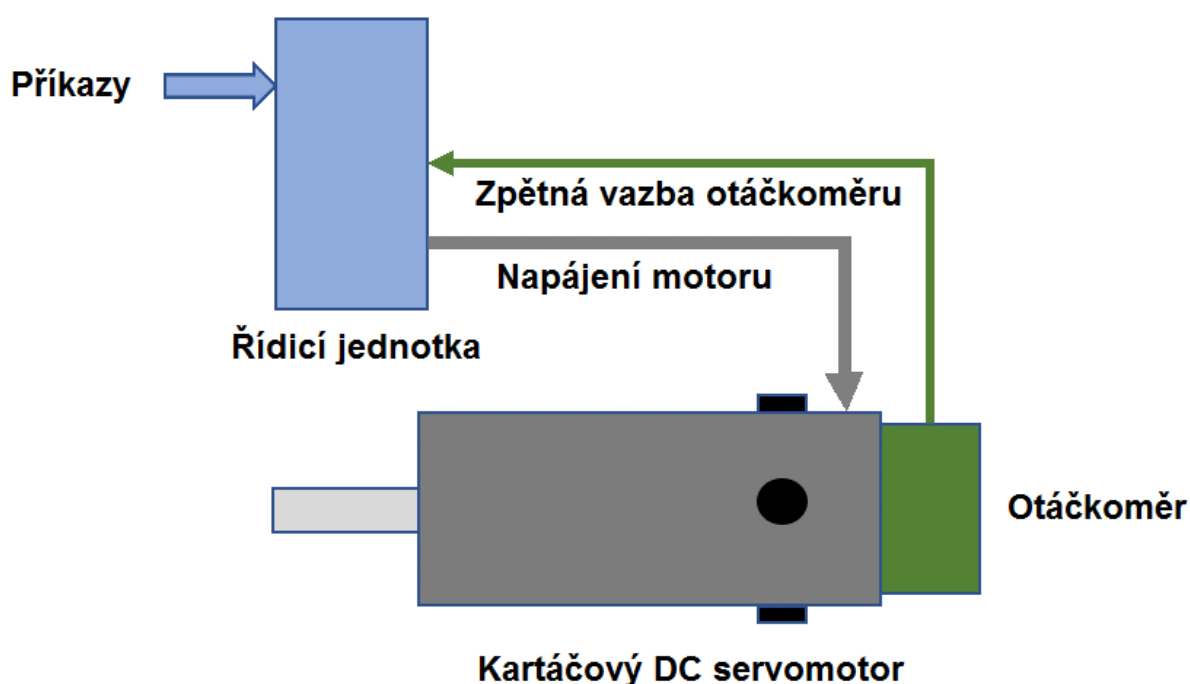
Jak už jsem zmínil, elektromotor má výkon 74 W. Na výkon elektromotoru jsme přišli jednoduše pomocí vzorečku: $P = U \cdot I = 7,4 \cdot 10 = 74 \text{ W}$

Kde U je napětí, které je z akumulátoru 7,4 Voltů, dále Proud I který maximálně dosahuje 10 A. Otáčky elektromotoru na výstupu jsou 9000 ot./ min, ale naše soukolí otáčky motoru zpomalí převodovým poměrem 0,429. To znamená že otáčky na hnací hřídeli jsou 3861 ot./min.

8.2.3 Servomotor

Servomotor není ve skutečných automobilech primárním vstupním členem řízení, jelikož je řízení ovládáno řidičem pomocí volantu. V našem modelu musí tuto práci na dálku konat někdo jiný. Servomotor o síle 15 N, který ovládá zatáčení

předních kol našeho RC modelu, funguje jako uzavřený řídicí systém. Po přijetí signálu z ovladače servomotor nejprve spustí svůj elektromotor, který díky převodovému mechanismu poskytne potřebný točivý moment. Součástí servomotoru je i zpětnovazební systém, obvykle ve formě potenciometru, který nepřetržitě monitoruje aktuální polohu hřídele. Na základě porovnání s požadovanou pozicí korekčním signálem motor přizpůsobuje otáčení tak, aby dosáhl přesné cílové hodnoty. Tento mechanismus zajišťuje, že zatačení kol je rychlé, přesné a spolehlivé, což je klíčové pro dobré ovládání RC modelu. Servomotor námi používaný se otáčí doprava i doleva o 90°. Pro sportovní auto jako je náš model to stačí jelikož úhel natočení kol je 30°, což je stejně jako naše předloha Ferrari F40. [4]



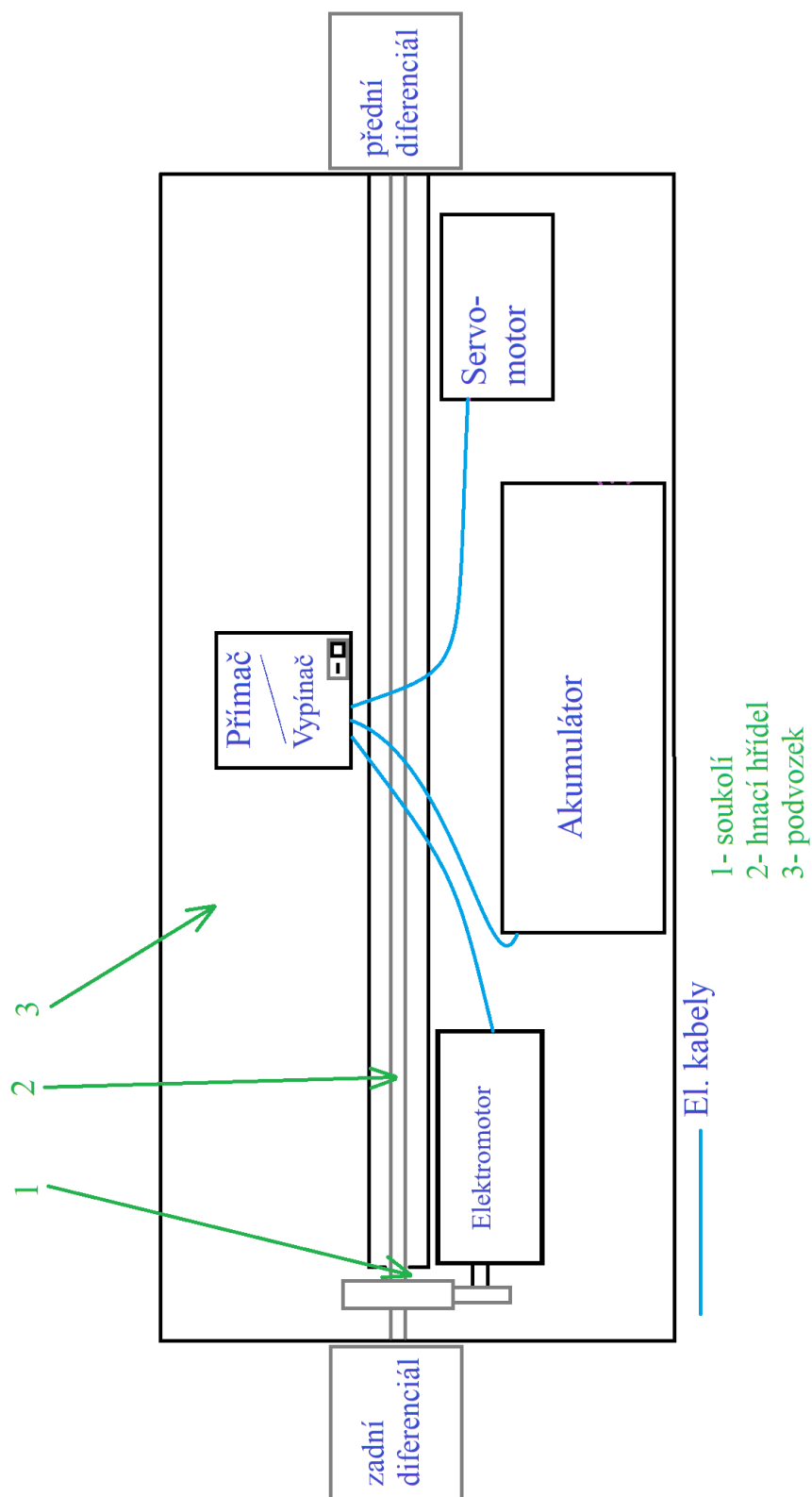
Obrázek 26: schéma servomotoru

8.2.4 Přijímač/Vypínač

Přijímač rádiového signálu ovladače o frekvenci 2,4 GHz. Přijímač obdrží signál z ovladače a poté převede podněty pro ovládání jednotlivých komponent vozu. Díky použití pásma 2,4 GHz má tento systém několik významných výhod: tato frekvence je méně náchylná k rušení ze strany dalších zařízení než nižší frekvenční pásma, což zajišťuje přesnější a spolehlivější přenos dat. Dosah našeho přijímače je ovlivňován prostředím, ale jeho dosah je podobný jako u běžných Wi-fi routerů, které pracují také s pásmem 2,4 GHz. Dosah přijímače je tudíž 30, až 100 metrů v ideálních podmínkách

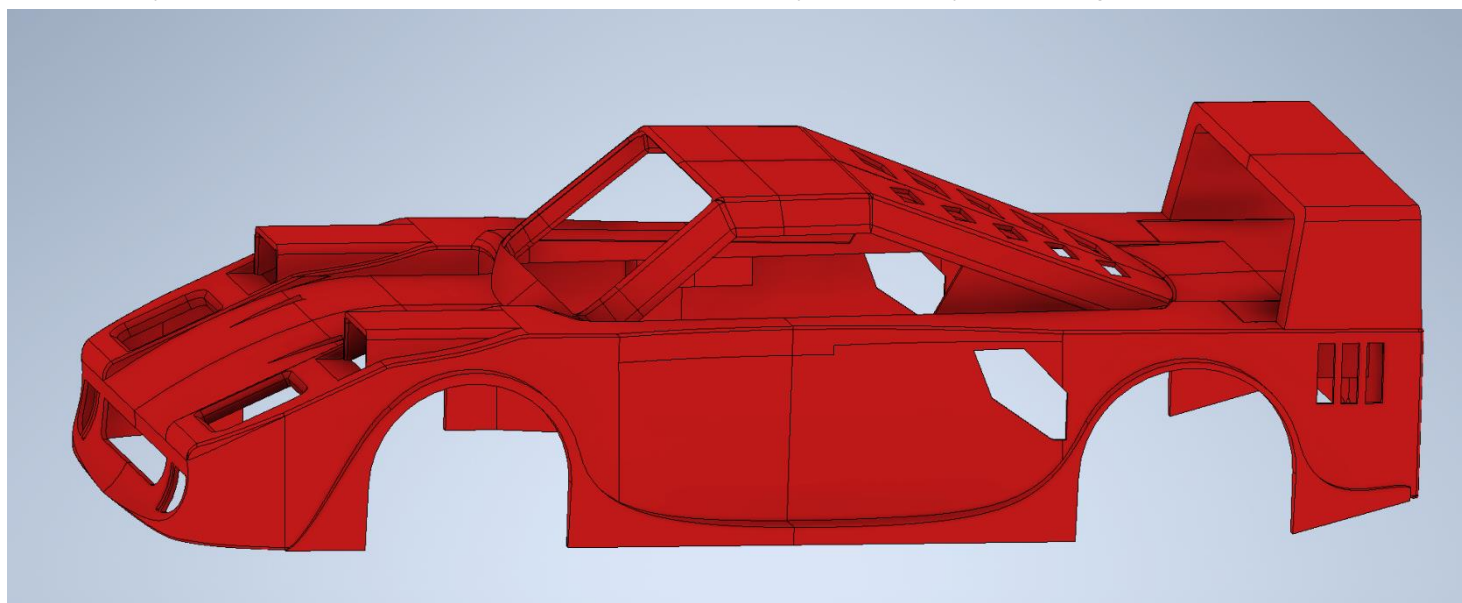
8.2.5 Schéma Mechatroniky

Všechny komponenty jsou uchyceny na podvozku, některé stačilo přilepit, ale motory jsme museli zašroubovat přímo do podlahy podvozku.



8.3 Návrh Designových a funkčních prvků

Hlavní část designu to, znamená karoserii, měl na starost kolega Mišaga. I když je karoserie krásná dalo se na ni mnoho vylepšit a přidat. Vzhledem k tomu, že jsme se inspirovali Ferrari F40 bylo jasné co budeme zlepšovat na našem modelu. Můžete vidět jak vypadá základní karoserie RC modelu. Základní linie jsou rozpoznatelně vystihnuté, ale má mnoho děr které je potřeba vyplnit, protože by bylo možné vidět do vnitřku modelu a takový vzhled by kazil dojem.



Obrázek 27: původní karoserie

Skutečný vůz Ferrari F40 má spousty vstupních a výstupních kanálů vzduchu které mají podpořit stabilitu a přítlak díky aerodynamice. Na našem modelu to nemáme za potřebí, ale i tak jako milovník aut nerad bych tyto díry vynechal a vymodeloval jsem designové černé prvky, které se k Ferrari červené hezky doplňují a může imitovat karbon často používaný na sportovních autech.

8.3.1 Kryt motoru, kanály, zadní rám, zrcátka

Začal jsem vstupními a výstupními kanály, které jsou na boku karoserie a zlepšují proudění vzduchu kolem zadních kol. Na tisk jsme použily černý filament a přilepily je na karoserii lepidlem na plast.

Kryt motoru na skutečném vozu je tvořen se skla, aby byla zaručena průhlednost k motoru. Já jsem se rozhodl vymodelovat kryt motoru, který bude imitovat karbon, takže je celý vytištěný v černé barvě, jelikož podobný materiál, který by zajistil průhlednost na 3D tisku není k dispozici.

Zadní rám vyplňuje prostor pro světelné prvky a umožní upevnění LED diod. Rám je také vytištěný na 3D tiskárně černým filamentem.

Zrcátka jsou okopírována z vozu F40 a jsou vytisknuta v červené barvě.

8.3.2 Světla

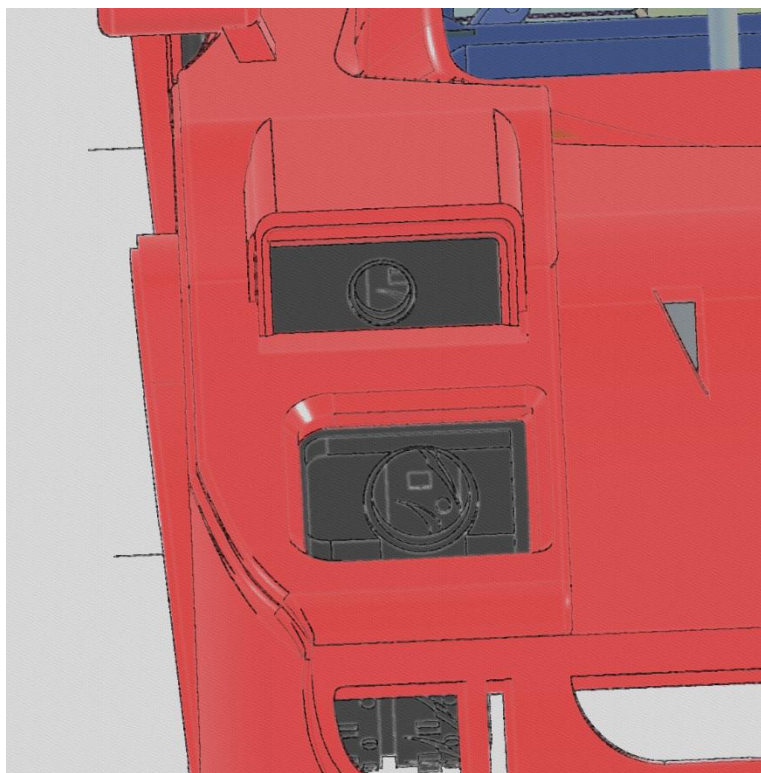
Světla se skládají ze dvou komponent. Z **rámu pro světla** a svítících **LED diod**.

Rámy pro světla jsou tvořeny jak designově, tak i funkčně. Na našem automobilu nalezneme až 3 druhy ráků. Jak už jsem zmiňoval jeden z nich je již zmiňovaný zadní rám. My se teď podíváme na konstrukci ráků, které jsou uloženy v přední části auta.

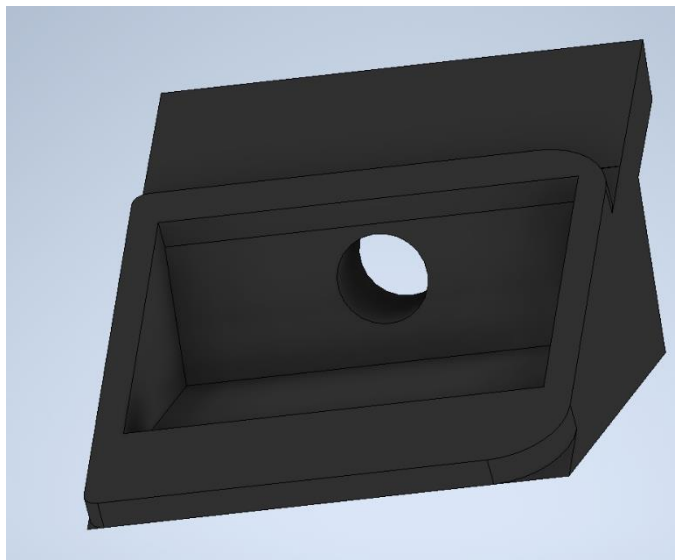
Dálková přední světla tzv „Mrkačky“ se sice nevysouvají jako na skutečném voze, jsou ale i tak při stále vysunuté poloze j edním z nejvíce charakteristickým prvkem designu. Stačilo nám vytvořit rám pro LED diodu, kterou jen zasadíme do karoserie.

Potkávací světla jsou umístěna pod „mrkačkami“ a skládají se opět ze dvou částí. Vymodeloval jsem rám pro světlo v černé barvě, které jsem zasadil do karoserie Společně s LED diodou.

Na zadní rám se sice umístí LED diody, které svítí červeně, ale jinak jsou totožné.



Obrázek 28: rámy světel zasazené v karoserii

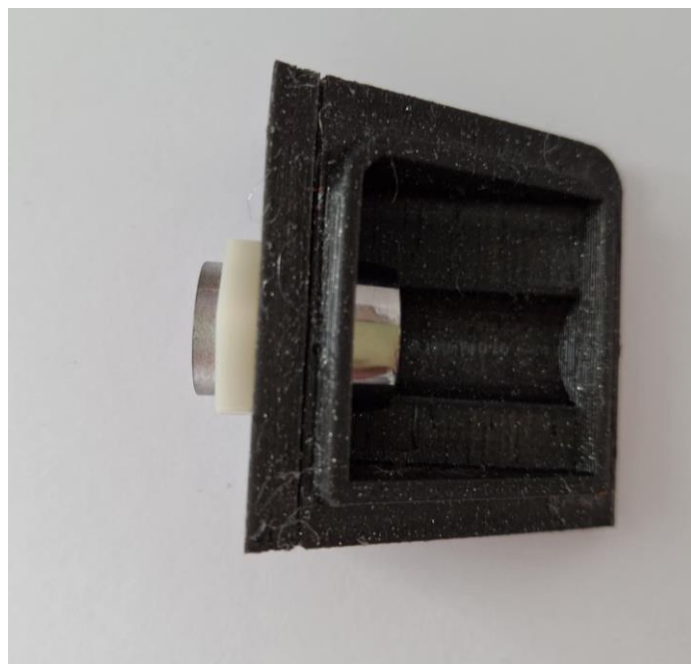


Obrázek 29: rám světla pro „mrkačku" pohled zespoda

Všechny LED diody mají svůj vlastní kruhový kovový kryt, který se zasadí do vytištěných rámců na světla a chrání samotnou diodu. Po zasazení světla do auta jsem nalepil přes světla průhlednou fólii, aby to vypadalo více jako reálné světlo.



Obrázek 30: kovový kryt pro diodu



Obrázek 31: dioda zasazená v rámu pro světlo

Pro zapojení světla jsem se zase něco naučil s elektrotechnikou. Abychom nemuseli mít na podvozku další akumulátor speciálně pro světla tak je stačí zapojit na stejný akumulátor, který už pohání mechatroniku, ten má, ale výstup 7,4 V. LED dioda funguje na rozsahu napětí 3,6 až 4 V, a proudu 0,02 A. To znamená, že napětí se musí pro světla zmenšit, pomocí rezistoru (odporu) a to si jednoduše vypočítáme, jak velký tento odpor musí být.

Ohmův zákon říká, že $R = \frac{U}{I}$, kde U je úbytek napětí nikoli napětí z baterie.

To vypočítáme napětí z baterie mínus potřebné napětí pro diodu

$$U = 7,4 - 3,6 = 3,8 \text{ V}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3,8}{0,02} = 190 \, \Omega$$

Díky odporu 190 Ω budeme mít jistotu, že se nám LED diody nespálí a budou fungovat spolehlivě.

Pro zapojení postačí zapojit LED diodu do série s akumulátorem. Moje elektro instalace vypadá tak, že přívod energie vede až z vypínače abychom mohli světla zapínat společně s motory. Z kladného pólu vedeme proud do rezistoru, který sníží napětí, za rezistorem jsou zapojeny LED diody, obvod je uzavřen vedením zpět na záporný pól akumulátoru.

8.3.3 Kola

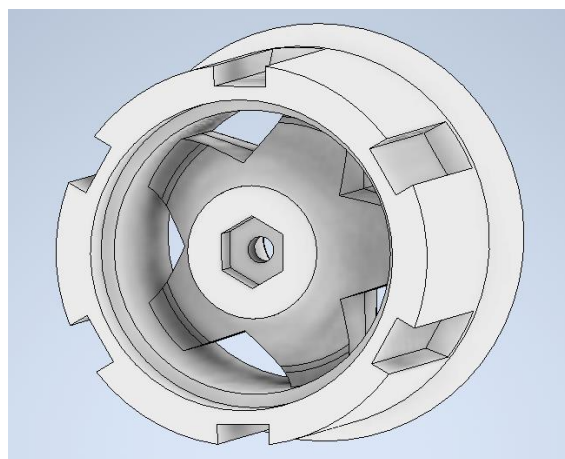
Jak se říká kola dělají auto a já jako milovník aut to moc dobře vím proto jsem na designu disků a pneumatik strávil nemalý čas. Inspirace byla opět jasná udělat disky ikonické pro Ferrari F40. Pěticípá hvězda je hlavní designový prvek, řekl bych že i dost „old school“.

Pneumatiku jsem navrhl podle vlastních představ. Základ bylo udělat semi sliky, které se hojně používají třeba pro rallye auta. Aby měly pneumatiky trochu více gripu a nebyly až moc hladké jsou po celém obvodu výstupky (různé čtverečky a kolečka), které právě podpoří přilnavost i na hladkých materiálech.

Nutno podotknout že jak je u nás zvykem vše bylo vyrobeno z 3D tisku, dokonce i pneumatiky. Pneumatiky byly vytisknuté z TPU tento materiál je natolik pružný, že se hodí i na výrobu pneumatik pro RC model. Smykové tření nedosahuje takových hodnot jako klasické pneumatiky u skutečných aut, ale pro nás to má i výhodu, protože jak jsem zmiňoval u diferenciálu, když nám pneumatiky dovolí mírný prokluz znamená to, že nemusíme používat mezinápravový diferenciál.



Obrázek 32: kola Ferrari F40



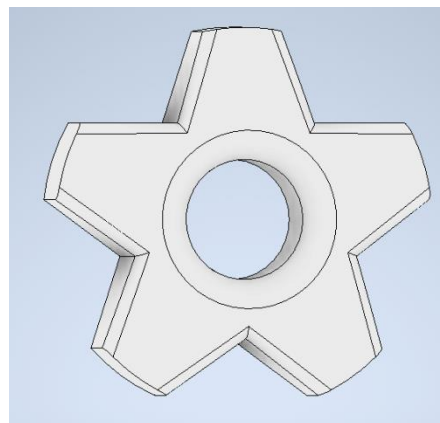
Obrázek 33: kolo pohled zezadu

Disk kola musel být zkonstruován tak aby se dal jednoduše nasadit na naši těhlici, který má tvar šestihranu. Po obvodu disku, na který se bude nasazovat pneumatika, je vyhotovených šest drážek pro přenesení síly kroutícího momentu z disku na pneumatiku. Pneumatika má zevnitř jako protikus zuby a jednoduše se nasune na disk. Pneumatika je nasazena z vnitřní strany, tudíž zářezy nejsou viditelné.



Obrázek 34: pneumatika

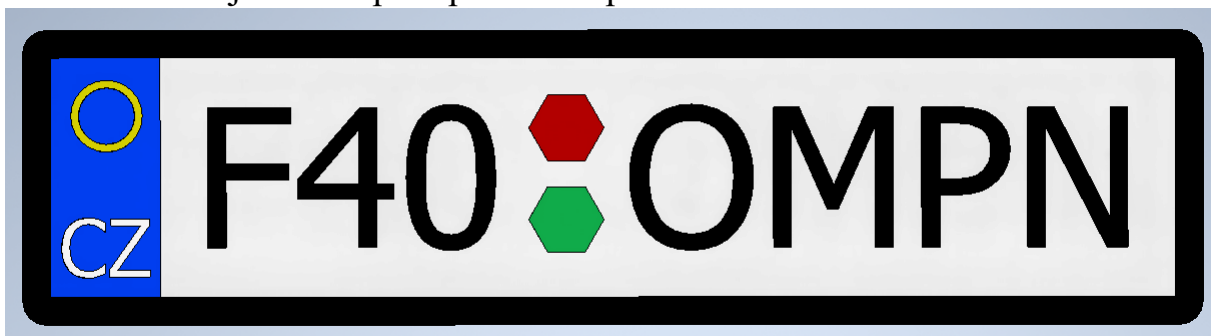
Pro lepší vzhled je potřeba oddělit hvězdu od zbytku kola, aby při tisknutí nezničily povrch podpěry. Při montáži se Hvězda přilepí ke zbytku disku lepidlem na plast.



Obrázek 35: hvězda disku

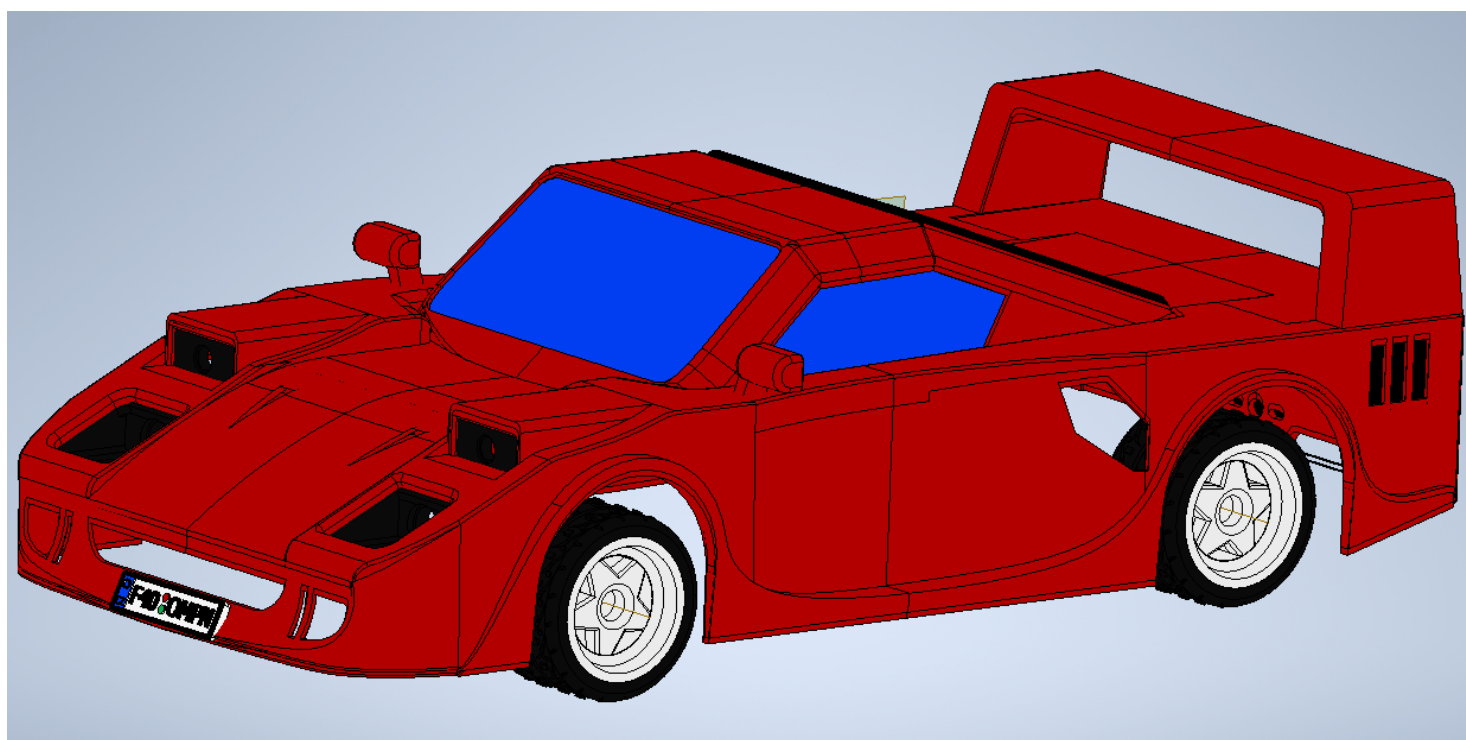
8.3.4 SPZ

Pro dokončení designu jsem přidal SPZ na náš model. Zajisté to není nutné, ale je to hezký doplněk. Zajímavost o SPZ je, že je tisknutá z 6 různých barevných filamentů, pro dodržení evropského vzhledu státní poznávací značky. Každá vrstva je tisknutá jinou barvou a dohromady tvoří jednu součást. Text SPZ je název našeho modelu (F40) a iniciály obou autorů Ondřej Mišaga a Pavel Nedoma. SPZ jsem nalepil lepidlem na přední a zadní část karoserii.



Obrázek 36: SPZ 6 různých barev

To jsou všechny designové prvky, které jsem přidal na původní karoserii. Na obrázku můžete vidět jak se karoserie změnila a porovnat ji s původní na začátku této kapitoly.



Obrázek 37: karoserie po úpravách

9 EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ – 2. ČÁSTI

Pro ekonomické vyhodnocení byly použity ceny filamentů, 600 Kč za kilogram PETG a 800 Kč za kilogram TPU.

Designové doplňky váží dohromady 70 gramů. Při ceně 600Kč/kg vychází cena 42 Kč

Pneumatiky byly vytištěny z materiálu TPU a jejich celková hmotnost činí 80 gramů. Při ceně 800 Kč/kg vychází náklady na tento materiál na 64 Kč. Kola, která váží 120 gramů, byla opět vytištěna z PETG, takže jejich náklady činí 72 Kč.

Nejdražší položkou je přirozeně mechatronika a veškeré elektronické součástky. Celkové ekonomické vyhodnocení komponent činí 1 910 Kč.

Baterie stála 290 Kč, LED osvětlení 200 Kč, elektromotor 300 Kč, servomotor 420 Kč a přijímač s ovladačem 700 Kč. Náklady jsou přiměřené vzhledem k funkci jednotlivých částí – baterie a motor zajišťují pohon, LED přidává vizuální efekt, servomotor slouží k řízení a přijímač s ovladačem umožňuje bezdrátové ovládání. Celkově jde o efektivně vynaložené prostředky pro plně funkční RC model.

4 kardany a dva diferenciály dohromady 400 Kč.

10 ZÁVĚR – 2. ČÁSTI

V této části práce jsem se zabýval návrhem a stavbou RC modelu inspirovaného vozem Ferrari F40. Hlavním cílem bylo vytvořit funkční model, který bude co nejvěrněji připomínat originální automobil, a přitom využít moderní technologie jako 3D modelování a 3D tisk.

Jednotlivé komponenty jsem navrhl v programu Autodesk Inventor a následně je vytiskl na 3D tiskárně. Během celého procesu jsem měl možnost uplatnit své technické znalosti a zároveň si rozšířit praktické dovednosti při kompletaci modelu, instalaci pohonu i zapojení elektroniky.

Výsledný model splňuje zadání a funguje podle očekávání. V průběhu práce se sice objevily drobné komplikace například s přesností tisku nebo s uchycením některých dílů, ale podařilo se mi je vyřešit a projekt úspěšně dokončit.

Tato zkušenost pro mě byla velmi přínosná, protože jsem měl možnost propojit teorii s praxí a pracovat na projektu, který mě opravdu bavil. Do budoucna bych model rád ještě vylepšil, například úpravou konstrukce, doplněním detailnějších prvků nebo zlepšením elektroinstalace.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: motor z Ferrari F40.....	4
Obrázek 2: Ferrari F40 v žluté barvě	5
Obrázek 3: silueta targy.....	6
Obrázek 4: silueta kupé	6
Obrázek 5: první obrys při modelování karoserie.....	7
Obrázek 6: karoserie pohled zezadu	8
Obrázek 7: podvozek pohled ze shora	9
Obrázek 8: upínák na podvozkové části.....	9
Obrázek 9: upínka na karoserii.....	10
Obrázek 10: upínák pohled na matice	10
Obrázek 11: obrázek nápravy s pojmy	10
Obrázek 12: kinematické schéma lichoběžníkové nápravy	11
Obrázek 13: ukázka lichoběžníkové nápravy	12
Obrázek 14: vizualizace přední nápravy Ferrari F40.....	13
Obrázek 15: nákres zadní nápravy Ferrari F40.....	14
Obrázek 16: opisná kružnice při zatáčení	16
Obrázek 17: přední těhlice	16
Obrázek 18: přední náprava pohled ze shora	16
Obrázek 19: skutečný vůz Ferrari F40	18
Obrázek 20: diferenciál	19
Obrázek 21: kardan	19
Obrázek 22: pohled se shora na auto, které zatáčí	20
Obrázek 23: ilustrace funkce diferenciálu.....	21
Obrázek 24: konec hřídele.....	23
Obrázek 25: typický dálkový ovládač.....	24
Obrázek 26: schéma servomotoru	25
Obrázek 27: původní karoserie	27
Obrázek 28: rámy světel zasazené v karoserii	28
Obrázek 29: rám světla pro „mrkačku" pohled zespoda.....	28
Obrázek 30: kovový kryt pro diodu	29
Obrázek 31: dioda zasazená v rámu pro světlo	29
Obrázek 32: kola Ferrari F40	30
Obrázek 33: kolo pohled zezadu	30
Obrázek 34: pneumatika.....	31
Obrázek 35: hvězda disku	31
Obrázek 36: SPZ 6 různých barev.....	32
Obrázek 37: karoserie po úpravách.....	32

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] <https://www.motorvize.cz/katalog/ferrari/f40/max-speed/>
- [2] https://www.reddit.com/r/carporn/comments/fag5jf/yellow_ferrari_f40/?rdt=55068
- [3] https://www.autozone.com/znetrgs/repair_guide_content/en_us/images/0900c152/80/05/4a/54/large/0900c15280054a54.gif
- [4] https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=212185
- [5] <https://www.autolexicon.net/cs/articles/lichobeznikova-naprava/>
- [6] <https://cdna.artstation.com/p/assets/images/images/035/791/320/large/andrew-anderson-front-suspension-1.jpg?1615910987>
- [7] <https://kr.pinterest.com/pin/235876099213575499/>
- [8] [Ackermannova podmínka - autolexicon.net](#)
- [9] <https://motofocus.cz/technika/81499,mela-by-se-po-vymene-tlumicu-nastavovat-geometrie>
- [10] [https://cs.wikipedia.org/wiki/Diferenci%C3%A1l_\(mechanika\)#](https://cs.wikipedia.org/wiki/Diferenci%C3%A1l_(mechanika)#)
- [11] <https://dspace.vut.cz/server/api/core/bitstreams/009cb900-78c8-489d-9fc2-8b545ced310f/content>
- [12] <https://www.raveo.cz/aktualita/jak-funguje-servomotor-a-zpetnovazebni-rizeni/>
- [13] [obrazek 1](#)
- [14] [obrazek 2](#)
- [15] [obrázek 3](#)
- [16] [obrazek 4](#)
- [17] [obrázek 8](#)
- [18] [obrázek 9](#)
- [19] [obrázek 10](#)
- [20] [obrázek 19](#)
- [21] [obrázek 20](#)
- [22] [obrázek 21](#)
- [23] [obrázek 22](#)
- [24] [obrázek 23](#)
- [25] [obrazek 26](#)



Skutečný model Ferrari F40