



Středoškolská technika 2025

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Návrh radiem řízeného modelu auta

Matouš Matějec

Střední průmyslová škola Mladá Boleslav

Havlíčková 456, 293 80 Mladá Boleslav

Poděkování

Nejprve bych chtěl poděkovat Ing. Jaromíru Mičíkovi za veškerou spolupráci a podporu, kterou mi poskytl během doby, kdy jsem se zabýval touto maturitní prací. Také chci poděkovat Ing. Kamile Fikkerové, Ing. Vojtěchu Kellerovi, Ing. Zdeňce Koťátkové, a opět Ing. Jaromíru Mičíkovi a Ing. Lubošovi Svárovskému za to, že mi umožnili začít pracovat na maturitní práci již na konci třetího ročníku. Na závěr chci poděkovat panu Jaroslavu Vaňkovi mladšímu za to, že mi umožnil upravit si během výuky ve školních dílnách na soustruhu kardanovou spojku.

Obsah

1. Úvod	7
2. Použité technologie	8
2.1. 3D tisk	8
2.3. Šroubové spoje [2]	8
2.4. Čepové spoje [2]	9
2.5. Nalisované spoje [2]	9
3. Návrh a modelování	10
3.1. základní parametry	10
3.2. nákup dílů	10
3.2.1. Maximální rychlost	15
3.3. Modelování	16
3.3.1. Zadní náprava	16
3.3.2. Přední náprava	20
3.3.3. Nosná část (plato)	24
3.3.4. Vzpěra podvozku (horní)	27
3.3.5. nárazníky a uchycení karoserie	29
4. 3D tisk dílů	31
4.1. Základní informace	31
4.2. Nastavení programu PrusaSlicer	32
4.2.1. Výjimečné nastavení programu PrusaSlicer	32
5. Práce prováděné na 3D tištěných dílech	36
5.1. Odstraňování nedokonalostí tisku	36
5.2. Převrtávání otvorů	36
5.3. Spojování dílů	37
5.3.1. Tvorba závitu v tištěných dílech	37
5.3.2. Lepení	38
5.3.3. Čepové a nalisované spoje	38
6. Kompletace podvozku	39
7. Seřízení podvozku	44
7.1. Tlumiče	44
7.2. Odklon kol na přední nápravě	44

7.3. Sbíhavost/rozbíhavost kol na přední nápravě.....	44
7.4. Nastavení regulátoru	45
7.5. Nastavení vysílače	46
8. Závěr.....	49

1. Úvod

Cílem mé závěrečné maturitní práce je navrhnout, vyrobit, sestavit a jízdy uschopnit model rádiem řízeného auta určeného k takzvanému driftování, projíždění zatáček řízeným přetáčivým smykem. Toto téma jsem si zvolil, protože jsem si chtěl postavit vlastní model, který by mohlo posloužit jako zajímavá ukázka 3D tisku a mých dovedností v programu CATIA. Zároveň věřím, že můj model by mohl leckomu pomoci s porozuměním toho, jak různé části aut fungují, byť je model podstatně jednodušší, než opravdová auta, principy funkčnosti jsou stejné.

V maturitní práci se zabývám modelováním dílů tak, aby vyhovovaly výrobě 3D tiskem, fungováním náprav a nastavitelnými parametry, 3D tiskem jako takovým, prací s 3D tištěnými díly, sestavením podvozku a nastavením elektroniky týkající se tohoto modelu.

2. Použité technologie

Hlavní výrobní technologie dílů podvozku je 3D tisk. Spojování dílů jsem realizoval lepenými spoji, šroubovými spoji, spoji pomocí čepů a nalisovanými spoji.

2.1. 3D tisk

3D tisk je aditivní technologie, kde se na vyhřívanou podložku tiskárny nanášejí vrstvy roztaveného materiálu, ten se taví v tiskové hlavě a následně je protlačován přes trysku. Průměr otvoru v trysce nejčastěji bývá mezi 0,25 až 0,8mm. Po nanesení materiálu v souvislé vrstvě na podložku je ochlazován ventilátory, aby ztuhnul a mohla se na něj nanést další vrstva. Před tiskovou hlavou se nachází podávací ozubená kolečka, která odvíjejí materiál v podobě struny z cívky, na které je navinut. Materiálů, které lze tisknout na běžných tiskárnách, je mnoho: od nejobyčejnějšího PLA až po filamenty s 75% obsahem wolframu, jak jsem se dozvěděl na webových stránkách firmy Průša [3].

2.2. Lepené spoje

Lepené spoje jsou nerozebíratelné s materiálovým stykem. Princip je založen na dvou základních vlastnostech lepidla: adhezi (přilnavosti) a kohezi (soudržnosti, výslednicí přitažlivých sil mezi molekulami lepidla). Výhodou lepených spojů v tomto případě je možnost spojovat velké plochy a nízká hmotnost spoje např. oproti šroubovým spojům. Nevýhodou je dlouhá vytvrzovací doba lepidla. [1]

2.3. Šroubové spoje

Šroubové spoje jsou nejrozšířenějším rozebíratelným spojením s tvarovým stykem v technické praxi. Šroubové spoje lze provádět dvěma způsoby pomocí šroubu a matice nebo pomocí šroubu a závitu vytvořeného přímo v jednom ze spojovaných dílů, který zaujímá funkci matice. [1]

Závit je základním tvarovým prvkem šroubů a matic, který umožňuje jejich sešroubování. Geometricky je závit tvořen šroubovicí. Šroubovice je technicky významná

křivka, kterou v prostoru opisuje bod otáčející se kolem pevné osy a zároveň posouvající se rovnoběžně s osou úměrně k úhlu pootočení. Profil metrického závitu je tvořen rovnostranným trojúhelníkem s vrcholovým úhlem 60° . [1]

2.4. Čepové spoje

Používají se k otočnému uložení strojních součástí, aby čepy umožňovaly otáčivý pohyb, musí být uloženy s vůlí. Čepy musí být pojištěny proti působení osových sil. [1]

2.5. Nalisované spoje

Spoje se silovým stykem jsou spoje za určitých podmínek rozebíratelné, využívají tření. Použity jsou jako zajištění čepu proti působení osových sil. [1]

3. Návrh a modelování

3.1. základní parametry

Dříve než jsem se mohl pustit do modelování, bylo potřeba stanovit si několik základních věcí. Model jsem se rozhodl zhotovit v měřítku 1:10 s rozvorem (vzdálenost osy předních kol od osy zadních kol) přibližně 256 mm (běžný rozměr). Měřítko 1:10 je podle mého rozumné, model nemohu udělat příliš velký, limituje mě totiž velikost tiskové podložky (25x20cm), zároveň nemůže být ani příliš malý, protože malé díly se obtížně tisknou. Model jsem se rozhodl provést s elektromotorem hnanou zadní nápravou. Pro RC modely není neobvyklý pohon spalovacím motorem, ten se mi ovšem jevil jako nevhodný pro jeho vyšší pořizovací i provozní náklady a větší komplexnost podvozku. Na přední nápravě jsem se snažil dosáhnout co největšího možného úhlu zatočení, proto také není hnaná, poloosy by to totiž úhel zatočení hodně omezovaly.

3.2. nákup dílů

Nakoupil jsem součástky, které nejsem schopen vyrobit, nebo se mi nevyplatí je vyrábět. Nakupovat díly před samotným návrhem bylo pro mě jediné řešení, protože narozdíl od mnou navrhovaných dílů nemůžu ovlivnit jejich tvary nebo rozměry a musím si vystačit s tím, co trh nabízí.

Diferenciál jsem koupil podle kódu z katalogu dílů k bugině Himoto.



Obr. 1. "Vnitřnosti" diferenciálu.

Zadní poloosy a osy kol jsem pořídil jako set, abych měl jistotu, že spolu budou dobře fungovat. Koupil jsem i přední osy kol bez poloos, protože přední náprava není hnaná.



Obr. 2. Osa kola a poloosa (zadní).

Hnací hřídel pro spoj motoru s diferenciálem jsem koupil také jako sadu, přičemž na diferenciál jsem musel použít jinou kardanovou spojku (černou) z důvodu jiného rozměru hřídele. V černé kardanové spojce byl menší vnitřní průměr otvoru příliš malý na to, aby se do něj vešla spojovací hřídelka. Ovšem díky masivní konstrukci černé kardanové spojky bylo možné otvor zvětšit, aby vyhovoval pro danou hřídelku. Vnitřní průměr jsem tedy převrtal na soustruhu ve školních dílnách.



Obr. 3. Spojka diferenciálu s motorem.

Olejšové tlumiče pro silniční modely s nastavitelným předepjetím pružiny.



Obr. 4. Tlumič.

Kulové čepy, oka kulových čepů a spojovací tyče, které na jedné straně mají závit pravý a na druhé straně závit levý.



Obr. 5. Kulový čep.



Obr. 6. Oka kulových čepů + spojovací tyč.

Kuličková ložiska na osy kol 10x15x4 a 5x10x4 mm.



Obr. 7. Ložiska.

Servomotor s 180° krokem pro ovládání řízení. Na výstupním hřídeli je velice jemné drážkování a uvnitř závit pro přitažení páky servomotoru šroubem.



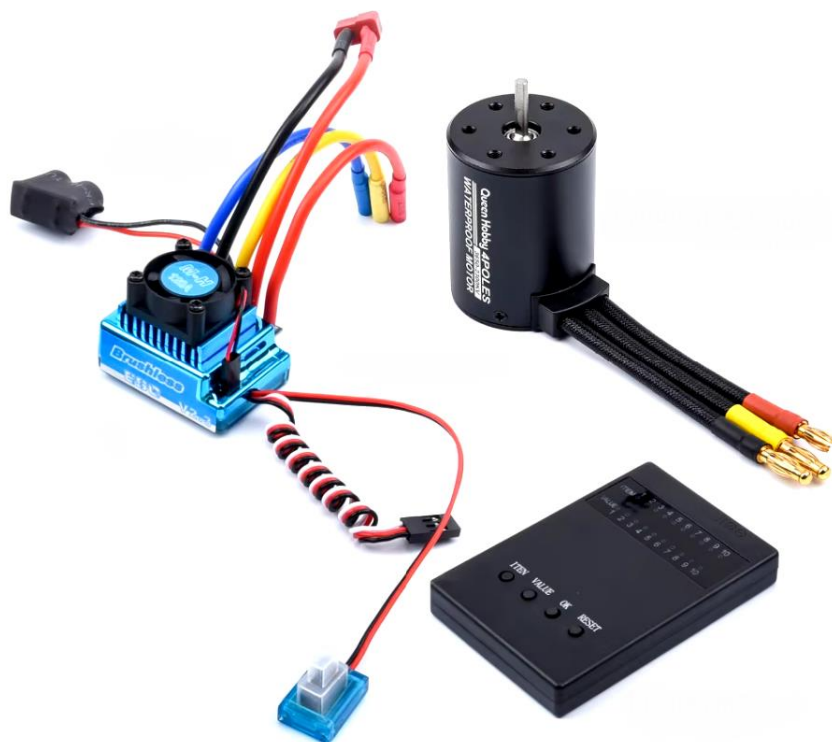
Obr. 8. Servomotor.

Uvnitř páky je obdobné drážkování jako na výstupní hřídeli servomotoru pro zajištění polohy.



Obr. 9. Páka servomotoru.

Motor, regulátor a programovací kartu jsem také zakoupil jako set. Motor pracuje na střídavé napětí a má 4 póly a 2 300 otáček za minutu na jeden volt. To při použití dvoučlánekového akumulátoru s celkovým napětím 7,4 V znamená, že maximální otáčky motoru jsou 17 020 otáček za minutu. Regulátor umí pracovat se stálým napětím 120 ampér a špičkovým napětím 480 ampér. Programovací karta umožňuje nastavení různých funkcí regulátoru, o kterých se zmíním později.



Obr. 10. Motor + regulátor + programovací karta. [2]

K vysílači, který již vlastním, jsem koupil pouze přijímač. Důležité je, aby přijímač měl stejné kódování a spektrum signálu jako vysílač, pokud by byly rozdílné, nedokázaly by spolu komunikovat. Přijímače je možné pořídit s různým množstvím kanálů, přičemž já potřebuji pouze dva, jeden pro ovládání servomotoru a druhý pro motor pohánějící kola, ale nejmenší nabízené množství kanálů je šest. Za značný příplatek je možné pořídit přijímač s gyroskopem, který driftování značně zjednodušuje automatickým natáčením kol do směru, ve kterém “utíká” zadní část vozu. Ovšem jeho používání je při oficiálních závodech zakázané, proto jsem pořídit přijímač bez gyroskopu.



Obr. 11. Vysílač.



Obr. 12. Přijímač.

Také jsem nakoupil spojovací materiál šrouby, matice a drát. Pro uchycení motoru jsem použil hliníkový profil tvaru písmene L.

3.2.1. Maximální rychlost

Maximální rychlost jsem zjistil výpočtem, proto se jedná pouze o teoretický údaj. Otáčky motoru při použití dvoučlánkového akumulátoru jsou 283,67 ot/s. Z počtu zubů na hrušce diferenciálu (13) a talířovém kole (38) vypočteme převodový poměr který je 1:2,9. Z převodového poměru a otáček motoru zjistíme otáčky kol (n), které jsou 97,8 ot/s. Vynásobením otáček kol (n [ot/s]) a jejich obvodu (O [m]) vypočteného z průměru (D [m]) v metrech získáme teoretickou rychlost v metrech za sekundu.

$$V = n \times (\pi \times D)$$

$$V = 97,8 \times (\pi \times 0,0635)$$

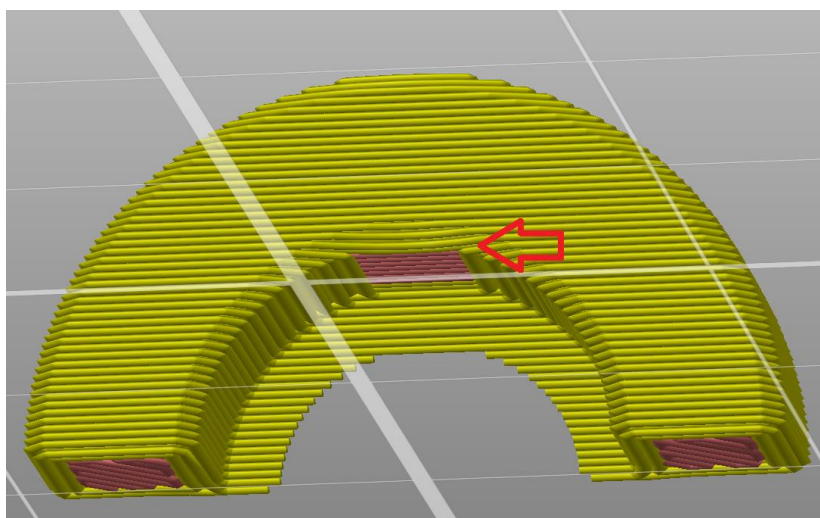
Rychlost V se rovná 19,51 m/s. Převedeno na kilometry za hodinu teoretická maximální rychlost modelu je 70,2 km/h, což se může zdát jako hodně, ale pro silniční modely je to relativně běžná rychlost s tím, že některé dosahují i rychlosti 90 km/h.

3.3. Modelování

Tyrkysově zbarvené díly v sestavách jsou zakoupené, jejich rozměry jsou důležité pro tvorbu okolních dílů. Tyto díly mnohdy přesně tvarově neodpovídají skutečnosti, pouze naznačují jejich vnější rozměry, například regulátor a přijímač. U jiných dílů záleží i na jejich tvarech, proto jsou namodelované detailněji například tlumiče, poloosy a osy kol.

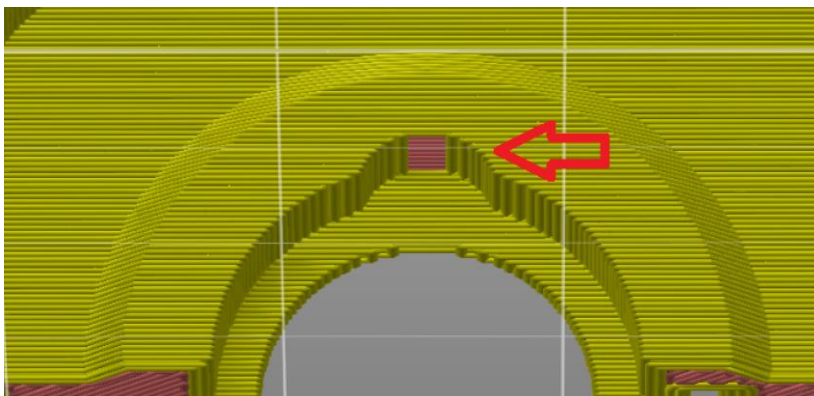
3.3.1. Zadní náprava

Začal jsem tvorbou skříně diferenciálu. Základní rozměry pro správné umístění kuželového pastorku (hrušky) vůči talířovému kolu jsem získal ze skříně, ve které se diferenciál prodává. Způsob sešroubování skříně diferenciálu byl inspirován zakoupeným kusem. Skříň diferenciálu je rozpůlená plochou kolmou na osu hřídele pastorku, tím vznikl problém s vytisknutím otvoru pro ložiska, který vyplývá z podstaty 3D tisku. Pokud je kruhový otvor tisknutý osou rovnoběžně s podložkou, nikdy nebude ani z daleka kulatý. Na vrcholu kruhu vzniká ploška, která výrazně zhoršuje přesnost uložení ložiska a sešroubování skříně.



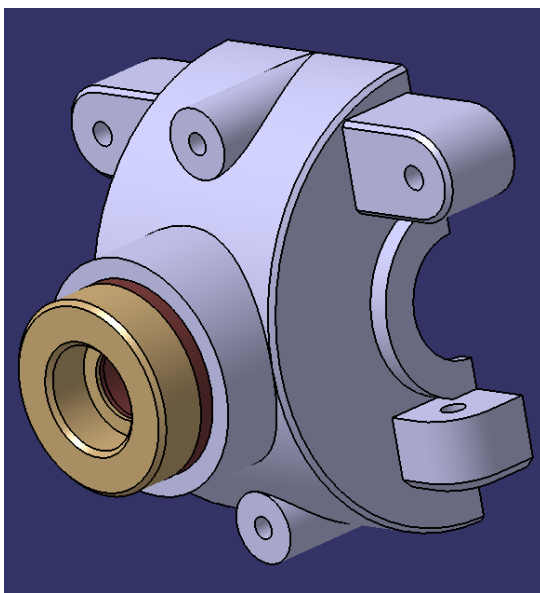
Obr. 13. Ukázka nekulatosti u vrcholu kruhového otvoru.

Tento problém je možné vyřešit snadno přidáním malého vybrání na vrchol kruhu, aby ploška nevznikla v části, která přichází do kontaktu s ložiskem.



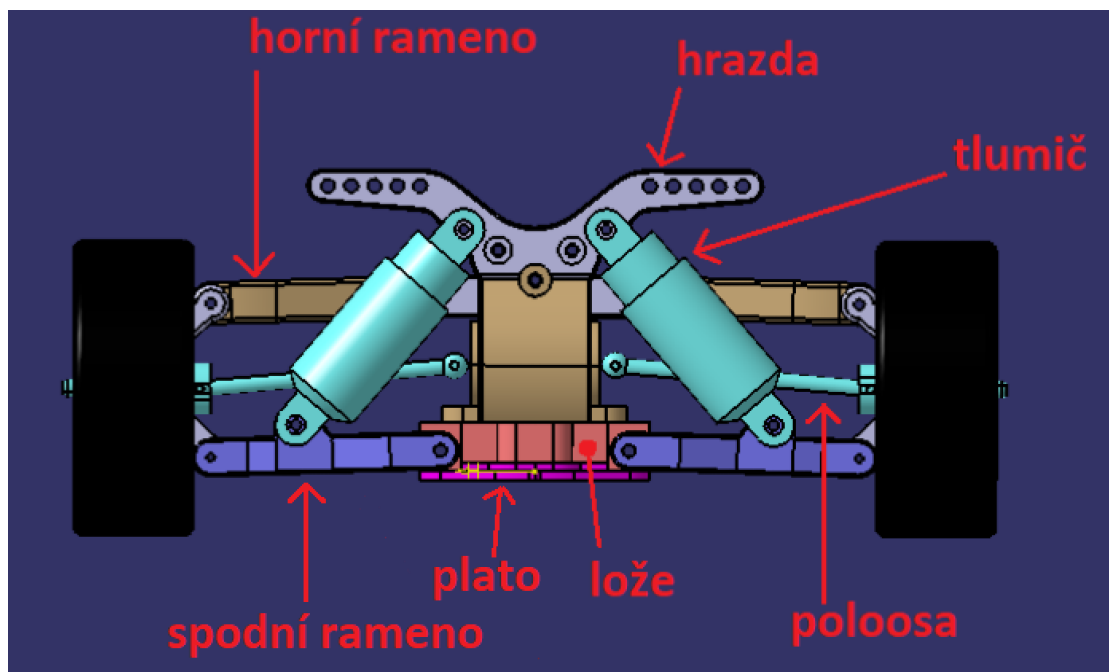
Obr. 14. Otvor pro uložení ložiska v diferenciálu.

Další problém, se kterým jsem se setkal, je pokles přesnosti tištěných součástí ve větších výškách od podložky a obzvláště, když se tiskne na podporách. Jako například u přední poloviny skříně diferenciálu, do které je uložena hřídel kuželového pastorku. Část skříně, do které se vkládají ložiska, jsem oddělil od zbytku skříně, aby se dala vytisknout zvlášť a později slepit se zbytkem skříně.



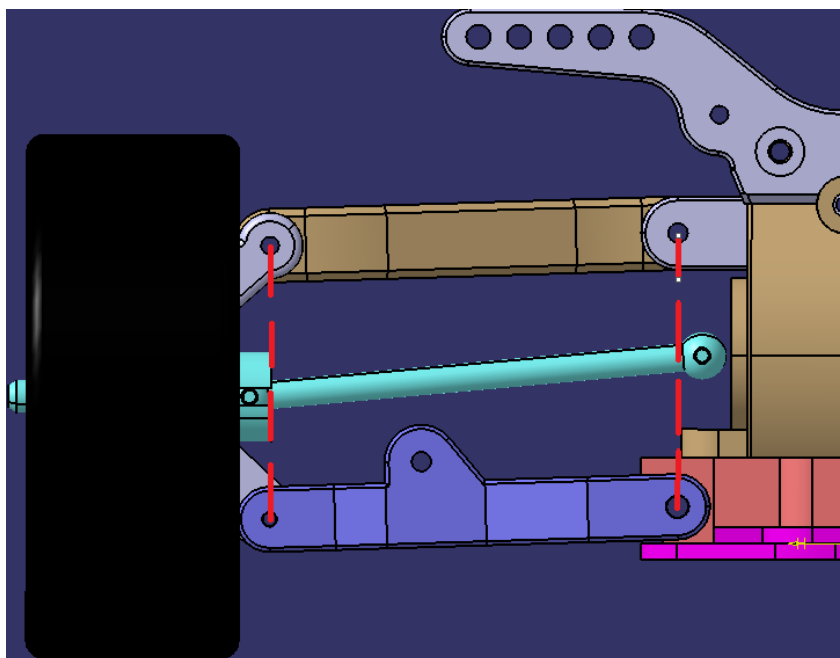
Obr. 15. Přední polovina skříně.

Skříň diferenciálu je vsazená v loži, které stabilizuje polohu skříně a umožňuje přišroubování k nosné části (platu) modelu. Dohromady tvoří celek, na kterém jsou připevněny ramena nápravy a hrazda k úchytu tlumičů a karoserie.



Obr. 16. Zadní náprava pohled zezadu.

Tlumič je uchycen přibližně v polovině spodního ramene a svírá s ním úhel přibližně 45° . Takto jsem dosáhl vyšší tuhosti odpružení zadní nápravy při použití stejných tlumičů. Důležité je, aby se kola při pružení tlumičů dotýkala podkladu stále celou plochou, proto musí být spodní a horní ramena stejně dlouhá a uložená nad sebou.

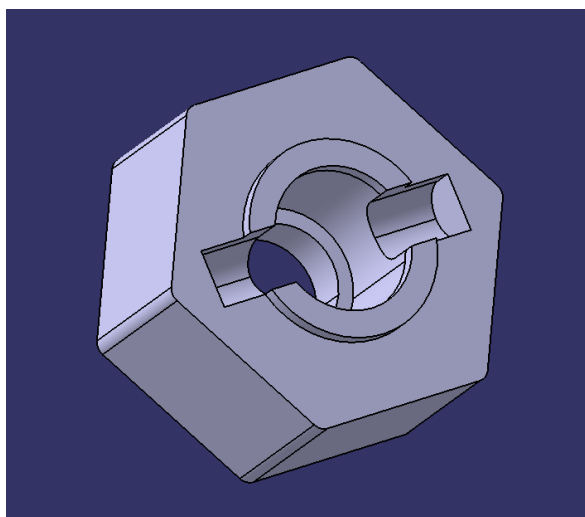


Obr. 17. Část zadní nápravy.

Spodní ramena jsem provedl poměrně masivní, protože nesou hmotnost podvozku a silově působí na tlumiče, i přesto jsem se je snažil co nejvíce odlehčit. Oproti spodním ramenům horní ramena pouze udržují těhlici ve správné poloze, proto nemusí být tak masivní.

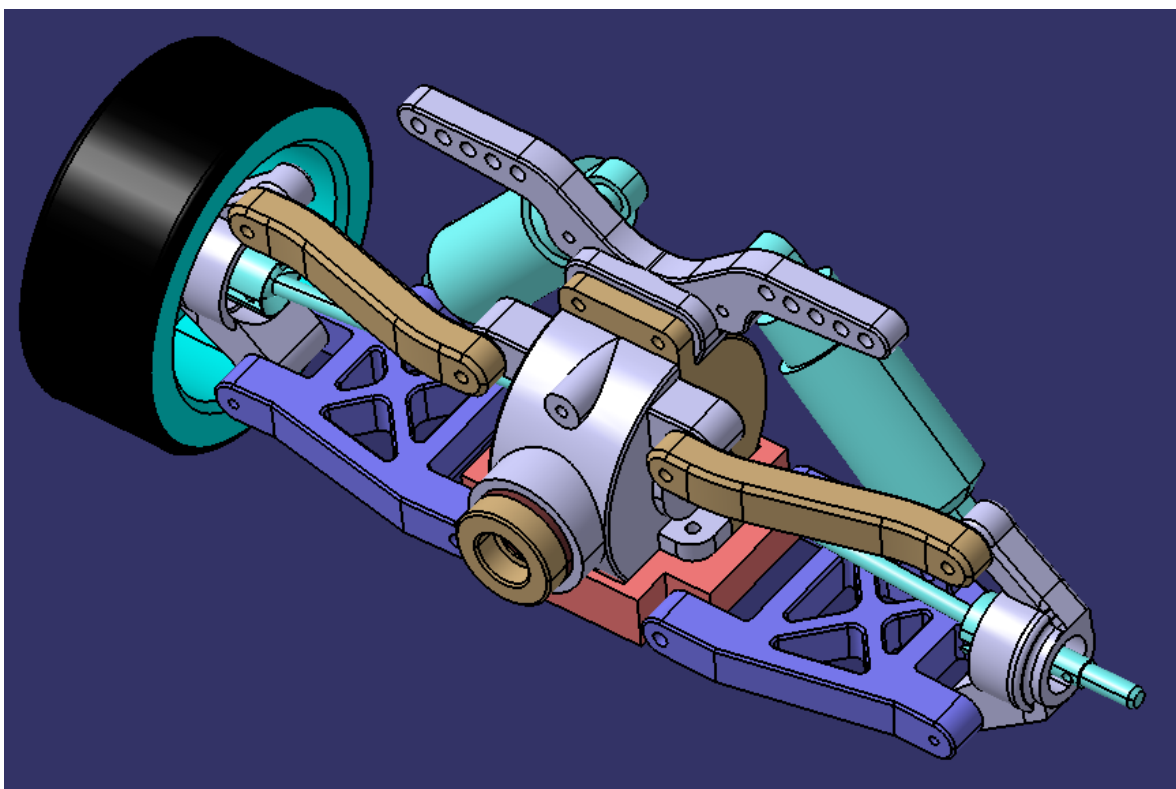
Tvar zadních těhlic je z větší části ovlivněn umístěním ložisek na ose kola a vzájemnou vzdáleností otvorů pro spoj s rameny, které bylo potřeba posunout směrem ke středu auta, aby se vyhnuly kolizi s koly. Těhlice je mezi ložisky plochou kolmou na osu ložisek rozdělená na dvě poloviny kvůli 3D tisku.

Otáčivý pohyb motoru je přiveden přes kardanovou spojku do diferenciálu, z něj přes poloosy na osy kol a poté na kola pomocí čepu a šestihranu. Čep je vsazený v otvoru nacházejícím se na ose kola. Na osu kola je nasazený šestihran s drážkou, do které zapadne čep. V kole se nachází šestihranný otvor pro šestihran na ose kola. Šestihran úmyslně není součástí kola, protože je snadné ho poškodit, v případě nutnosti výměny nebo úpravy nějakého rozměru šestihranu se nemusí měnit celé kolo. Nakonec je kolo přitaženo pojistnou maticí našroubovanou na ose kola. Tento způsob spojení kol se zbytkem hnacího ústrojí je pro modely aut zcela běžný.



Obr. 18. Šestihran.

Z tohoto všeho se skládá zadní náprava.

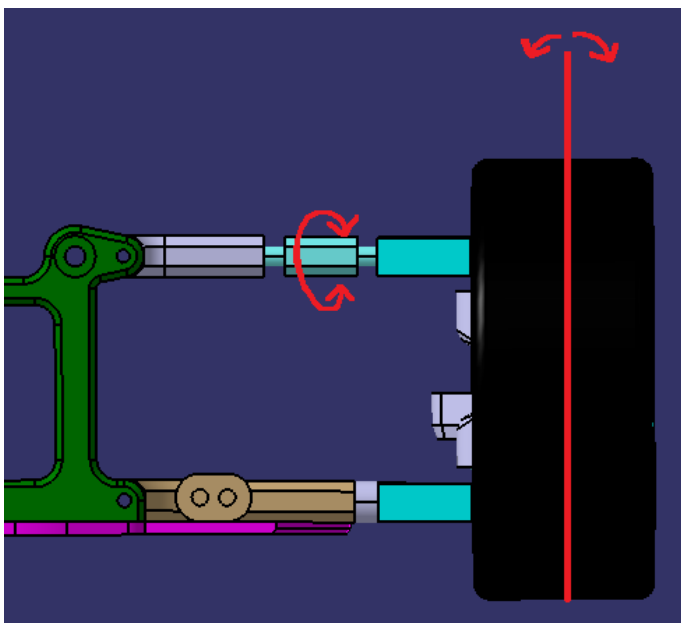


Obr. 19. Celá zadní náprava (schované levé kolo).

3.3.2. Přední náprava

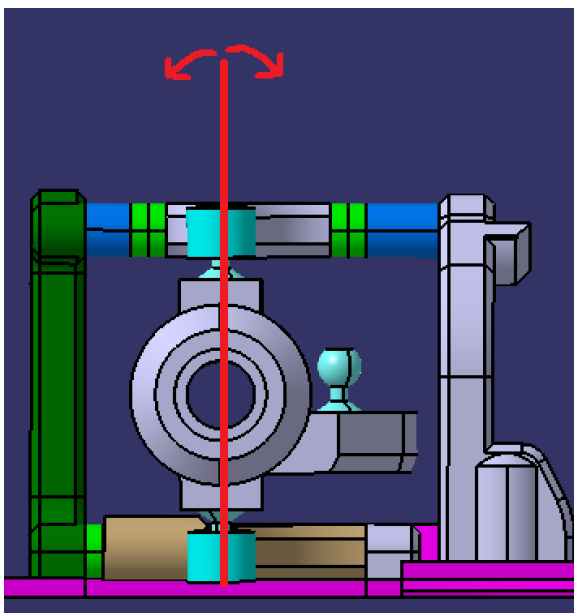
Pro přední nápravu platí stejné náležitosti jako pro zadní pouze s tím rozdílem, že přední náprava není hnaná a musí umožnit zatáčení. Na základě stejných náležitostí jsem zkonstruoval ramena a těhlice, na kterých je oproti zadním úchyt pro táhla řízení. Ramena jsem musel hodně zúžit, aby kolu nepřekážela při velkém úhlu zatočení. Ze stejného důvodu jsou tlumiče upevněny co nejbližší ke středu vozu.

Přední nápravu jsem obohatil o nastavitelný odklon kol pomocí spojovací tyče na horním rameni, spodní rameno je také stavitelné pomocí závitové tyče a vymezovací podložky. Stavitelností obou ramen jsem docílil i nastavitelného rozchodu (šířky) přední nápravy.



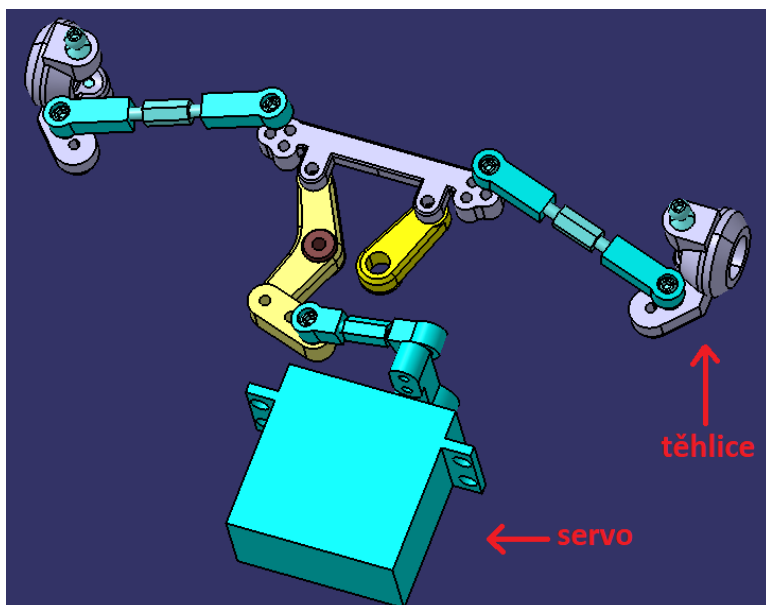
Obr. 20. Nastavitelnost odklonu (pohled z předu).

Nastavitelný je také náklon rejdového čepu kola (caster angle). V podstatě je to náklon těhlic oproti svislé ose. Tento úhel je možné upravit změnou pořadí namontování podložek (označeny světle zelenou barvou viz. obrázek) a ramen na čepy. Pořadí položek je možné měnit na horním i spodním rameni. V případě potřeby se je tímto způsobem možné změnit rozvor náprav modelu.



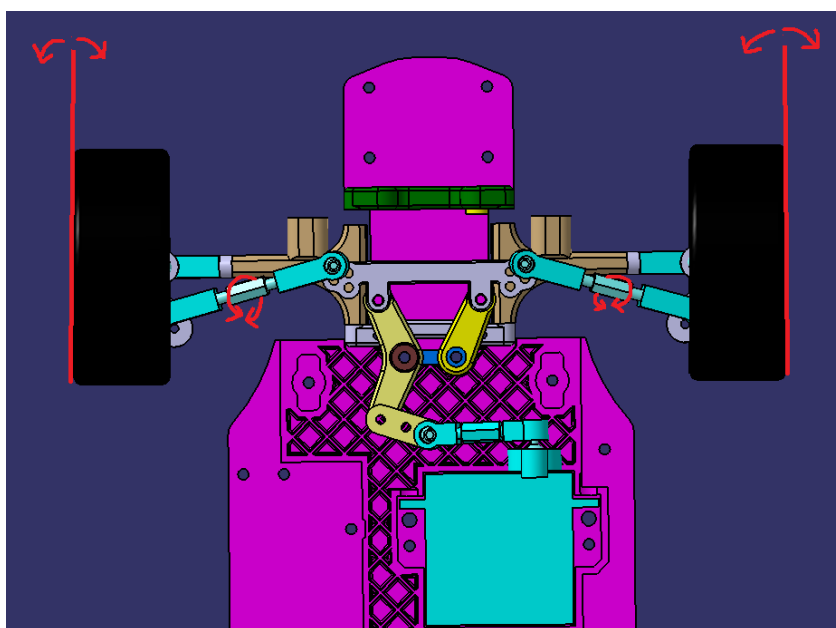
Obr. 21. Nastavení záklonu kola (pohled z boku).

Zatáčení je umožněno uložním těhlic přes kulové čepy. Táhla a páky spojují těhlice se servomotorem.



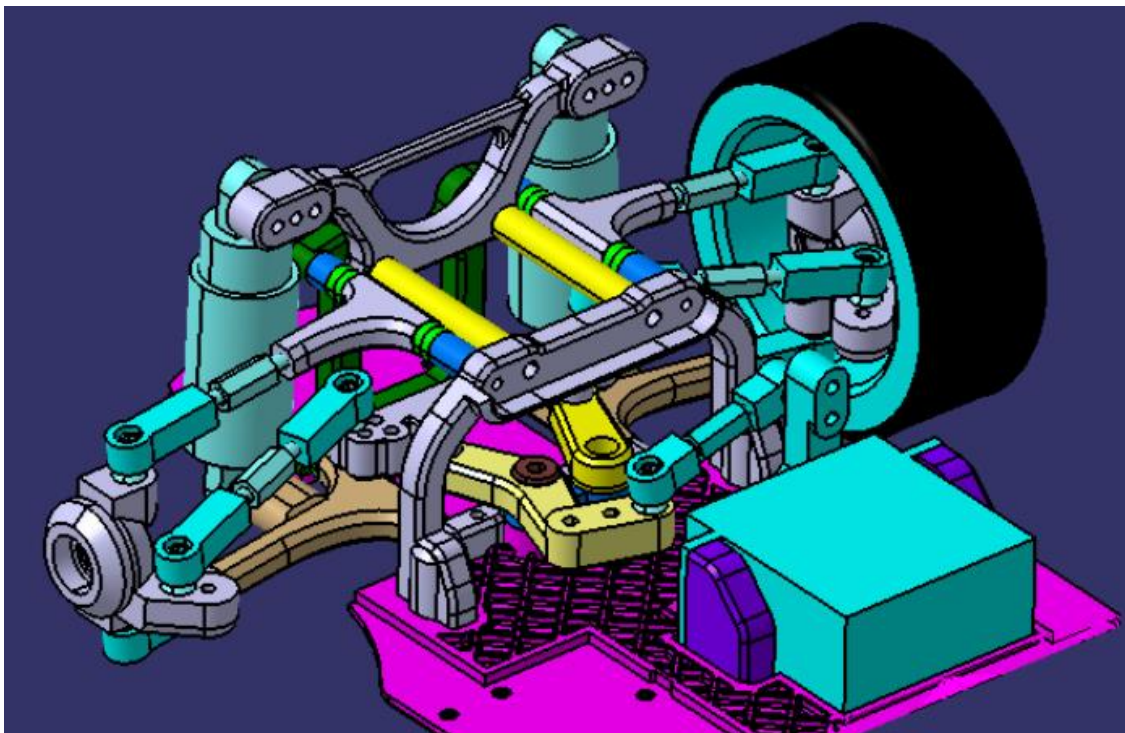
Obr. 22. Mechanismus řízení.

Na těhlicích i pákách řízení je více možností, na které umístit kulové čepy pro možné ladění. Táhla spojená s těhlicemi jsou délkově stavitelná pomocí spojovacích tyčí s pravým závitem na jedné straně a levým na druhé. Upravením délek táhel je možné změnit sbíhavost nebo rozbíhavost kol.

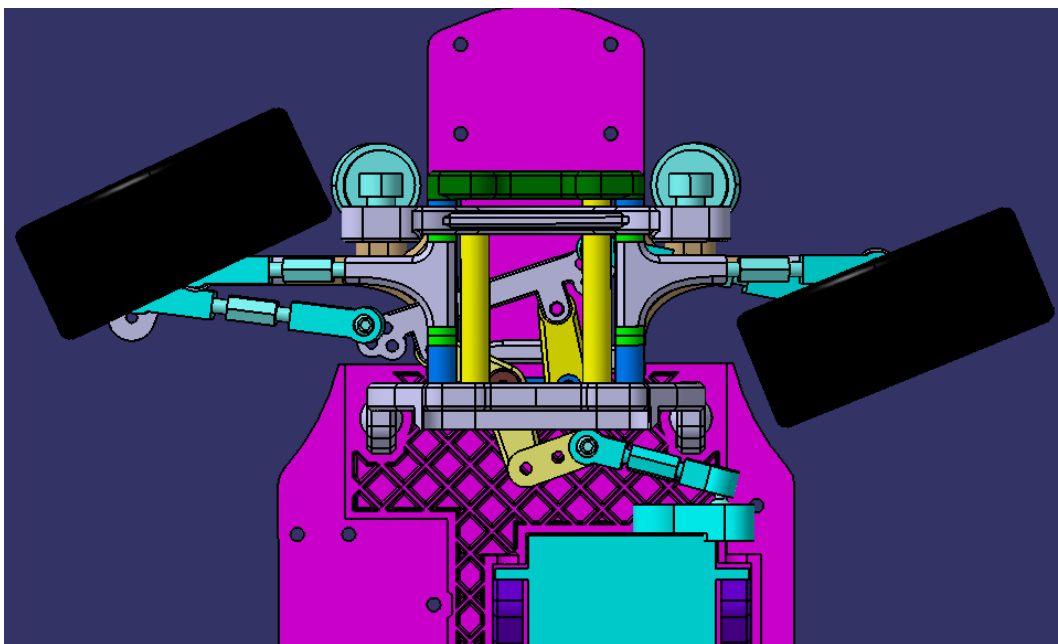


Obr. 23. Sbíhavost/rozbíhavost kol.

U servomotoru jsem také chtěl použít spojovací tyč, bohužel v zakoupené sadě na jedné ze spojovacích tyčí byl špatně vyříznutý závit, proto se stala nepoužitelnou. Vzhledem k tomu, že jsem nakoupil přesný počet, jsem se nyní musel spokojit s nahrazením spojovací tyče obyčejnou závitovou tyčí.



Obr. 24. Celá přední náprava (schované levé kolo).

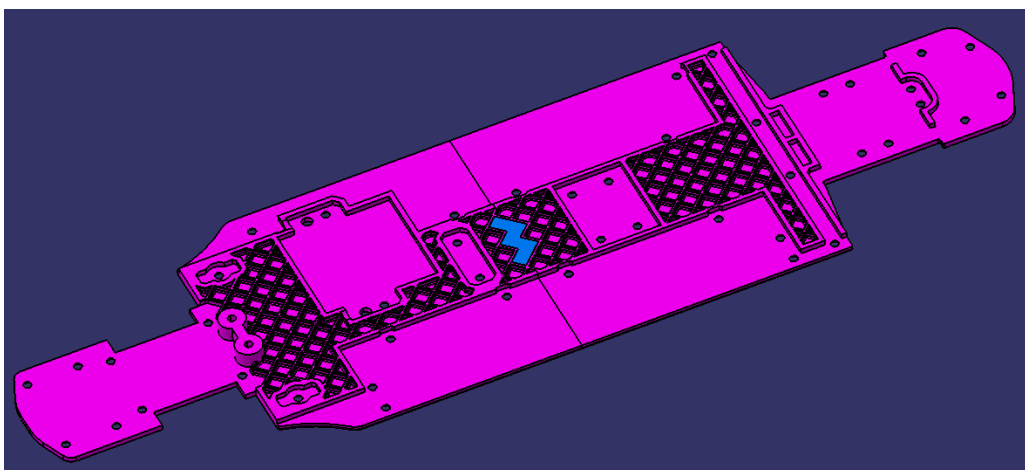


Obr. 25. Ukázka maximálního teoretického zatočení kol.

3.3.3. Nosná část (plato)

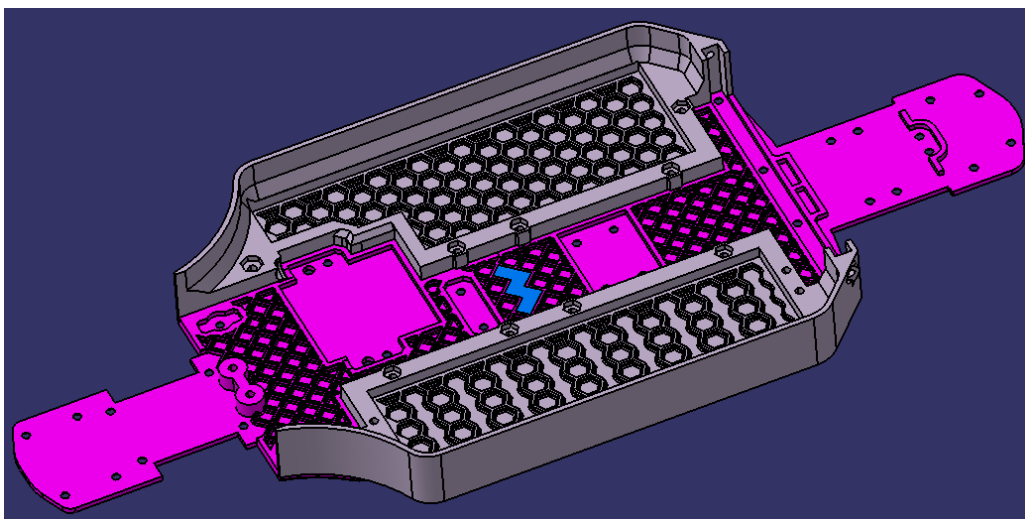
Pro modely k driftování je běžné že nosná část (plato) je, jak již název napovídá, pouze deska vytvořená z plastu vstřikováním nebo z hliníku. Poněvadž 3D tištěné díly jsou značně pružnější než plastové díly vytvořené vstřikováním, rozhodl jsem se nosnou část provést způsobem bližším modelům určeným pro provoz v terénu.

Nosná část se celkově skládá z šesti dílů. Základem je spodní část složená ze tří kusů. Nebylo možné ji vyrobit v kuse, protože je větší než tisková plocha mojí tiskárny. Modrý dílek slouží jako aretace při lepení. Ve spodní části jsou vytvořeny výřezy, které pomáhají s polohováním dalších přidělaných součástí. V místech, na které se nic nepřidělává, jsem vytvořil čtvercovou síť, která plní funkci zpevnění při malé přidané hmotnosti.



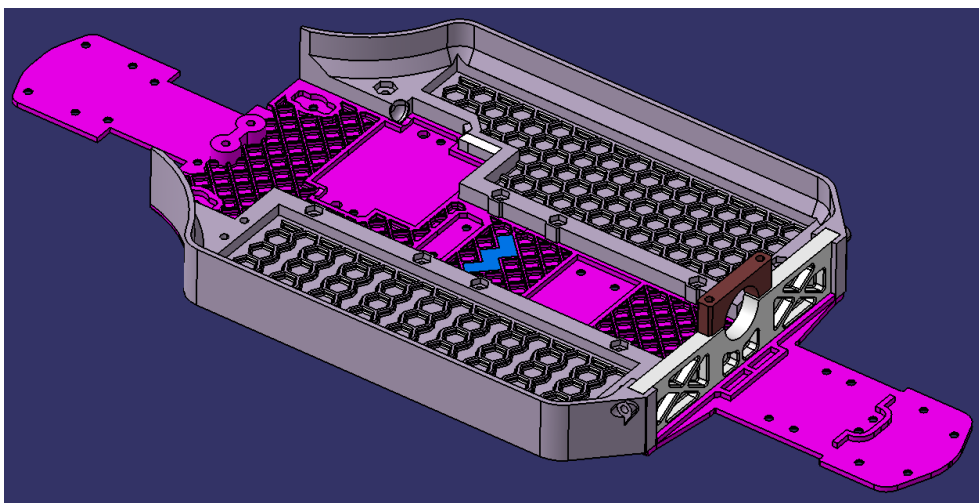
Obr. 26. Základ nosné části.

Na spodní části jsou přišroubované dvě postranice. V levé bude uložena baterie a v pravé zbytek elektroniky mimo motoru a servomotoru. V obou postranicích jsem vytvořil plástvovou výplň, která je ovšem na vymodelování náročnější než čtvercová. V levé vaně jsem v každé druhé řadě šestihranů odebral příčky, které je spojují, abych alespoň trochu umožnil cirkulaci vzduchu pod baterií.



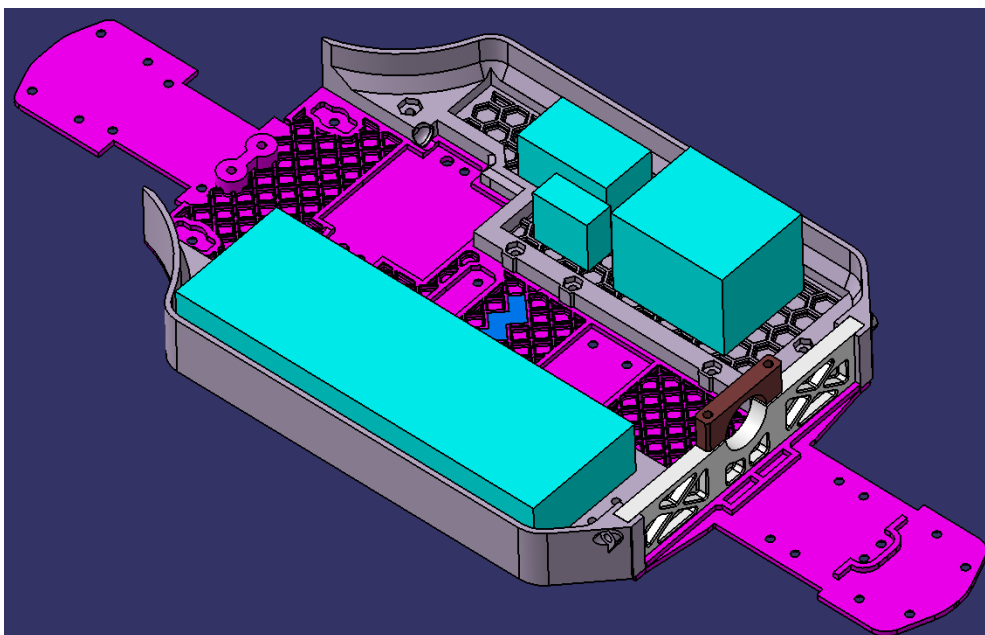
Obr. 27. Základ nosné části + postranice.

Obě postranice jsem úmyslně vytvořil, aby profilem připomínaly písmeno “L” a tím zpevňovaly podvozek proti kroucení a prohýbání. Postranice jsou propojeny zadní stěnou, která zároveň slouží jako objímka skříně diferenciálu. Pomáhá zabránit případným vibracím a zpevňuje podvozek. Zadní stěnu jsem také co nejvíce odlehčil.



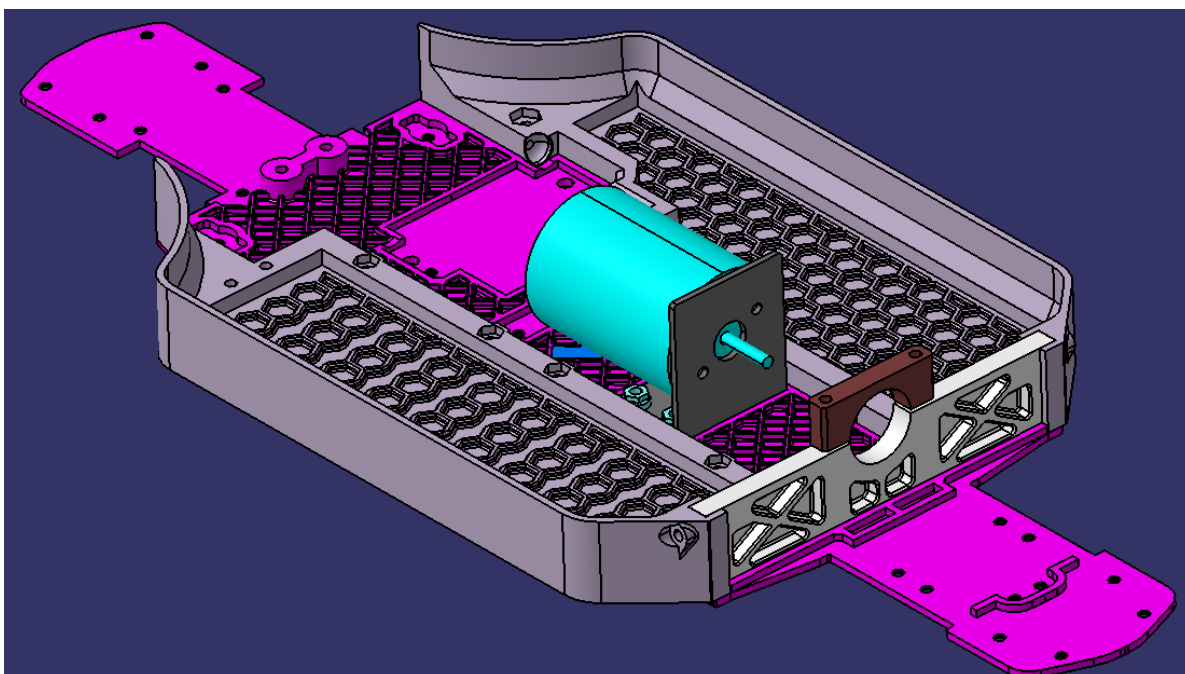
Obr. 28. Základ nosné části + postranice + zadní stěna.

Světle modré “kostky” na následujícím obrázku znázorňují vnější rozměry akumulátoru, přijímače a regulátoru. Namodeloval jsem je, abych měl jistotu, že v podvozku bude dostatek prostoru, abych do něj mohl elektroniku bez problému umístit.

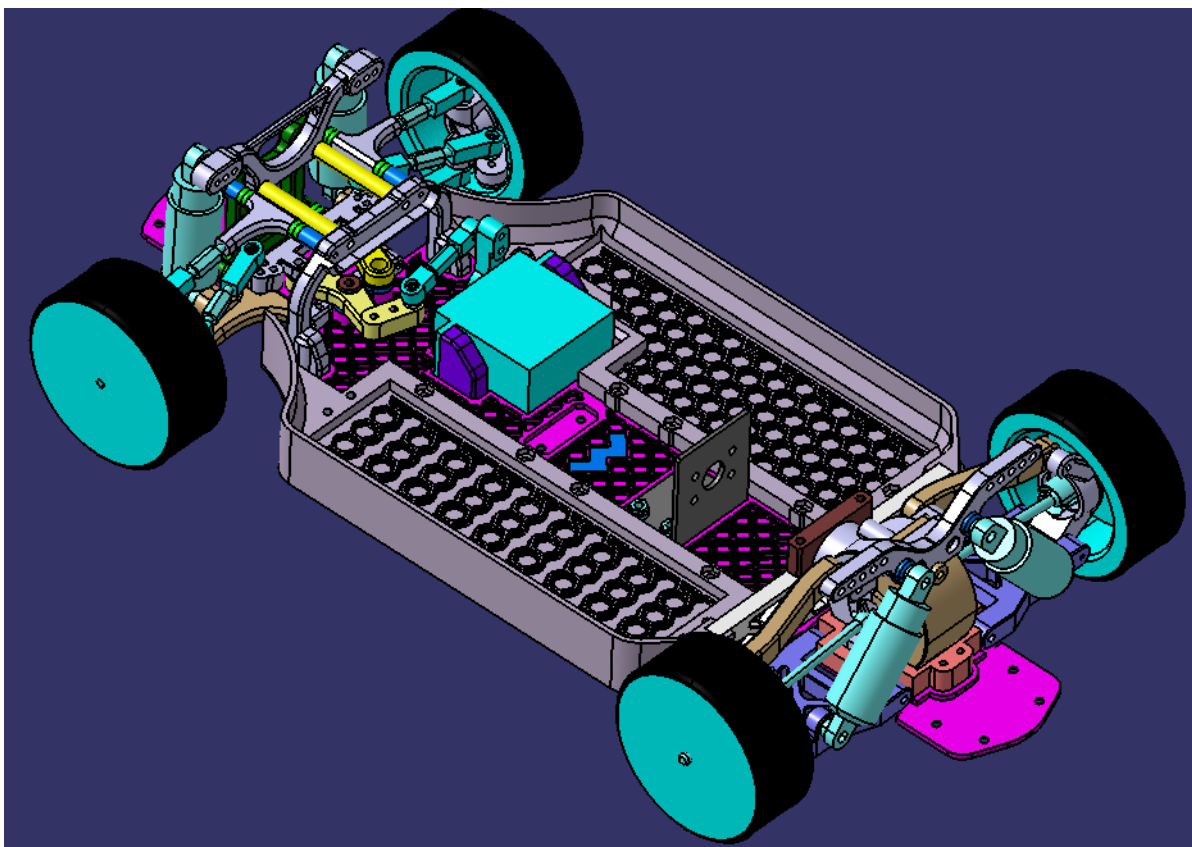


Obr. 29. Prostor pro umístění elektroniky.

Jak jsem dříve zmínil, motor je přišroubován k hliníkovému “L” profilu, který je přišroubovaný k platu. Držák motoru jsem mohl provést 3D tiskem, ale hliník narozdíl od plastu je tepelně vodivý, takže může alespoň trochu přispět k odbourávání tepla vyprodukovaného motorem.



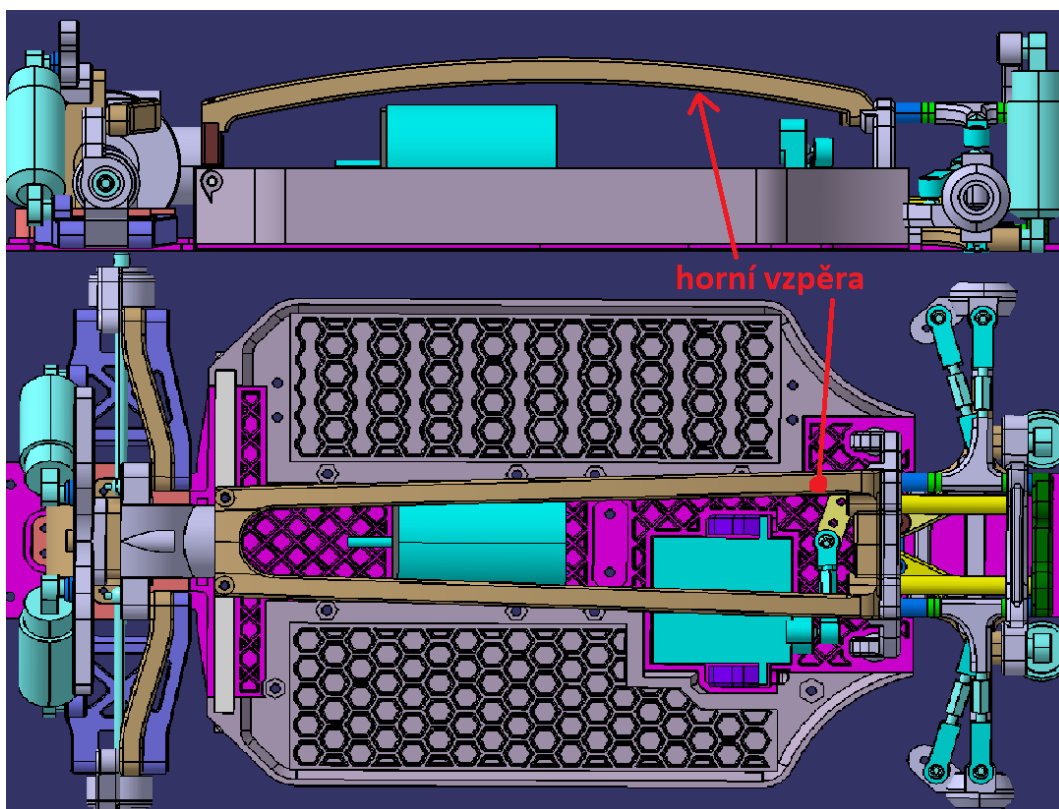
Obr. 30. Uchytení motoru.



Obr. 31. Co je zatím hotovo na podvozku.

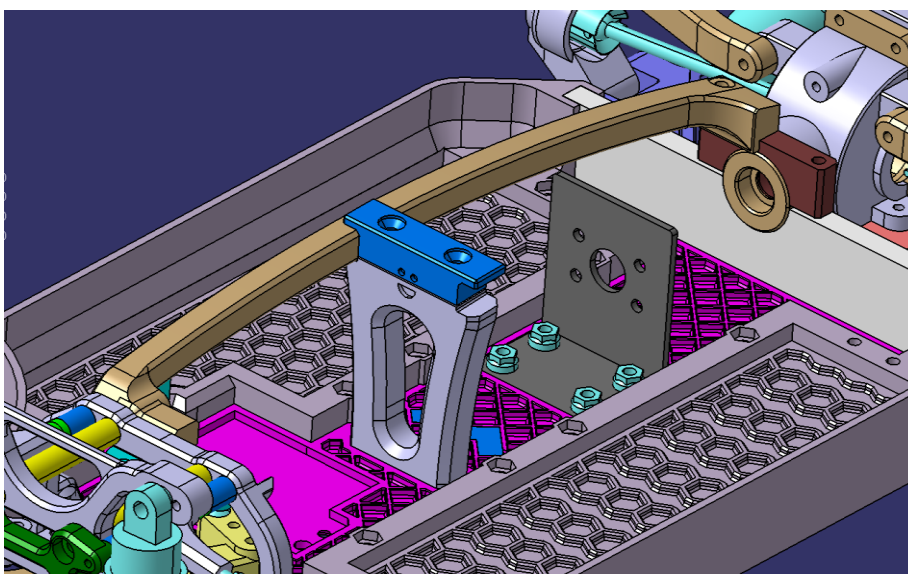
3.3.4. Vzpěra podvozku (horní)

Můj záměr pro horní vzpěru byl přímo spojit vrchní stranu zadní stěny a rám přední nápravy. To nebylo možné, protože v cestě stojí motor, proto jsem vzpěru realizoval jako prohnutou. Na zadní straně jsem využil šroubů pro stažení objímky diferenciálu tak, aby se vzpěra o diferenciál částečně opírala. Zároveň je přišroubovaná k zadní stěně, která je spojená s platem a postranicemi. Na přední straně jsem využil šroubů, které procházejí celým předním rámem, přičemž zadní strana předního rámu je uzpůsobená tak, aby do ní vzpěra zapadla a opírala se o ni. Z důvodu různých roztečí šroubů v předu a vzadu je vzpěra na jednom konci širší než na druhém.



Obr. 32. Horní vzpěra.

Vzhledem k tomu že, mi zbylo místo mezi motorem a servomotorem, jsem se rozhodl propojit horní vzpěru s platem ještě v jednom místě. Horní vzpěra dosedá na spodní část (šedou) podpory a je k ní přitažena horní částí (modrou). Spodní a horní část podpory na sebe nedosedají (je mezi nimi mezera), aby se vzpěra mezi nimi dala stáhnout.

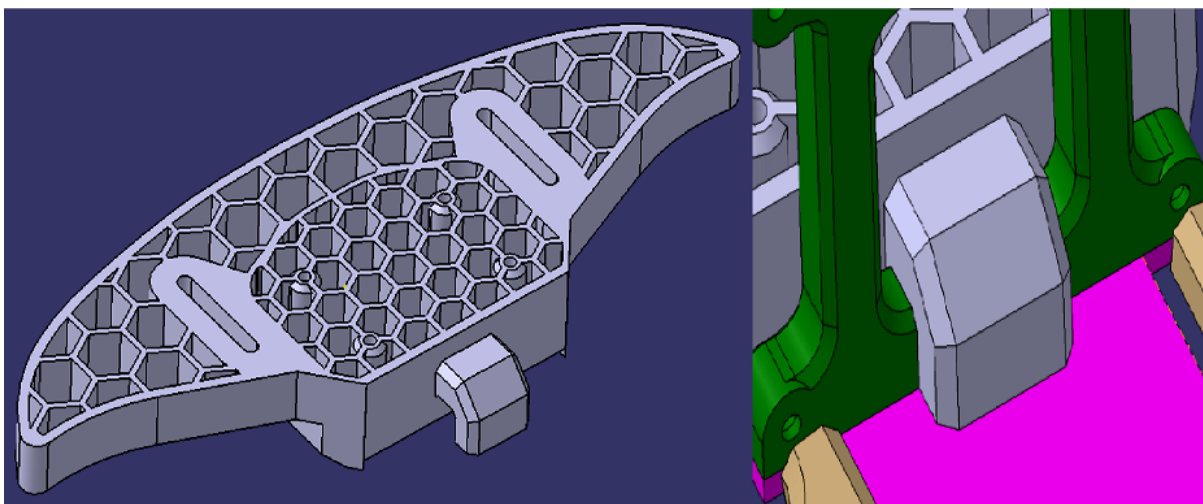


Obr. 33. Podpora horní vzpěry (levá polovina horní vzpěry schovaná).

3.3.5. Nárazníky a uchycení karoserie

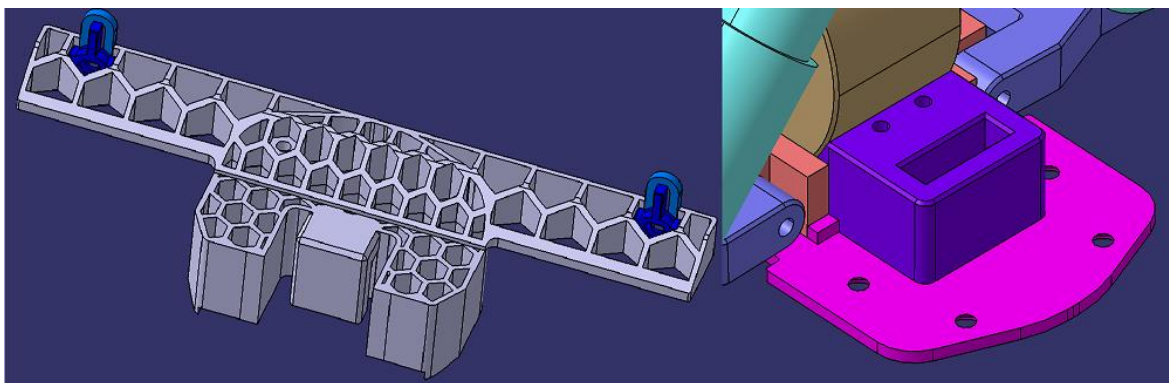
Nárazníky jsem modeloval až poté, co jsem podvozek z větší části sestavil, abych měl představu, kolik prostoru pro vytvoření nárazníků budu mít. Od začátku modelování nárazníků jsem věděl, že je budu chtít vyplnit sítí vytvořenou z šestihranů, protože jsem se v dokumentárním pořadu o japonských rychlovlacích dozvěděl, že velice dobře pohlcuje nárazy díky tomu, jak se v průběhu nárazu deformuje.

Do programu CATIA jsem nahrál obrázek karoserie a upravil jeho velikost, aby odpovídal velikosti podvozku. Obrys předního nárazníku jsem vytvořil obkreslením karoserie s jistou rezervou. Zadní část předního nárazníku jsem vytvořil tak, aby se opírala o rám přední nápravy. Na zadní části předního nárazníku je malý háček, který by měl zabránit pružení přední části plata.



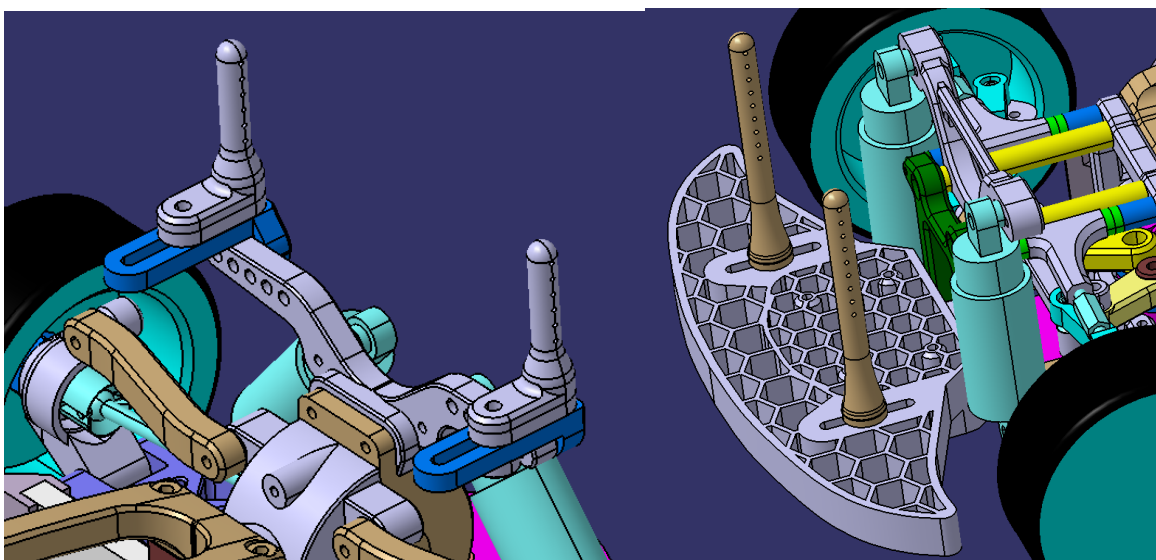
Obr. 34. Přední nárazník + detail háčku.

Zadní nárazník jsem vytvořil obdobně, ale uzpůsobil jsem ho tomu, aby na něj bylo možné přidělat malou “ozdůbku”, kterou jsem kdysi vytvořil ke karoserii a mám v plánu ji použít k tomuto podvozku. Na zadním nárazníku je obdobný háček jako na předním, musel jsem ovšem vytvořit i protikus háčku, který je přišroubovaný k loži diferenciálu.



Obr. 35. Zadní nárazník + protikus zobáčku.

Otvory pro sloupky byly na karoserii již vyvrtané a tomu jsem musel uzpůsobit umístění sloupků na podvozku. Pozice předních sloupků vyšla do předního nárazníku. V tom jsem vytvořil dva otvory umožňující posouvání sloupků vpřed a vzad. Na zadní hrazdu jsem sloupky umístil obdobným způsobem.



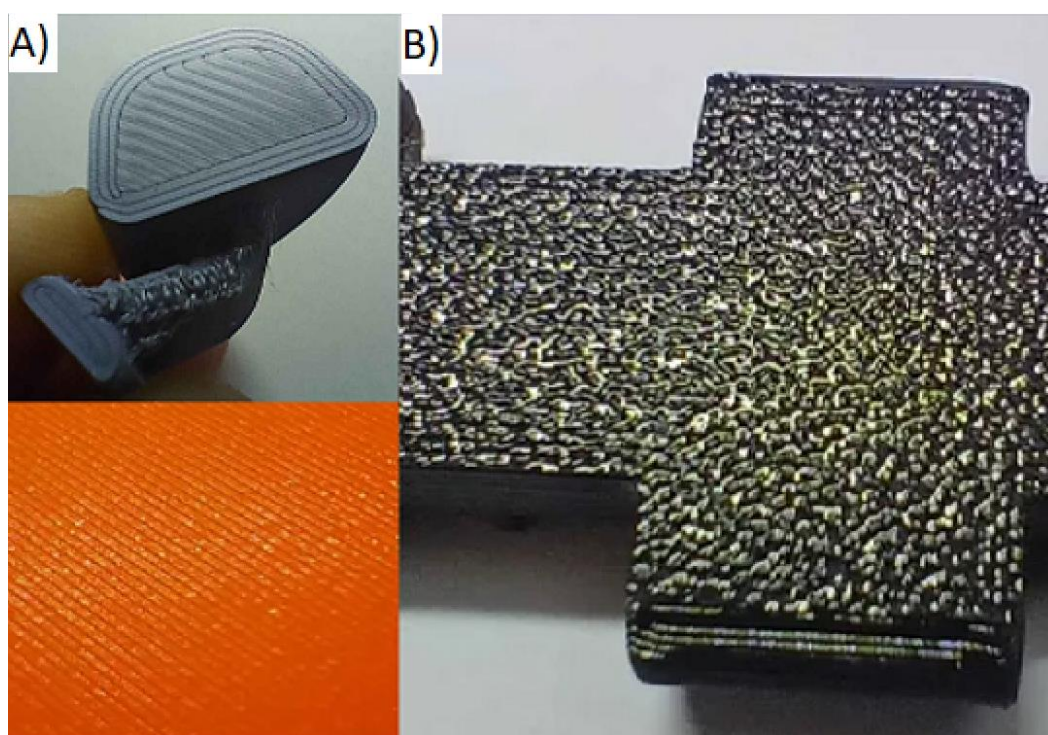
Obr. 36. Sloupky na zadní hrazdě.

Obr. 37. Sloupky na předním nárazníku.

4. 3D tisk dílů

4.1. Základní informace

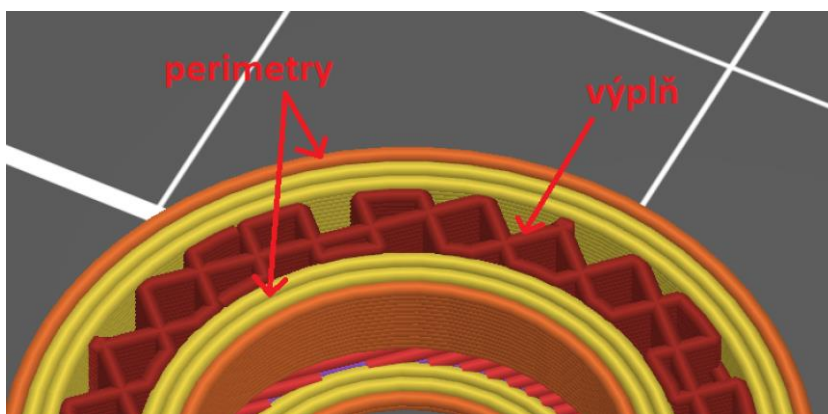
Pro tisk dílů jsem použil moji tiskárnu Original Prusa i3 MK3S. Průměr otvoru v trysce je 0,6 mm. Materiál PLA se mi jevil jako nevhodný, protože při opracování se mi často stávalo, že se mi přímo “rozpouštěl pod rukama” obzvlášť při tvorbě závitů nebo převrtávání otvorů. Proto jsem jako materiál zvolil PETG, který má vyšší tepelnou odolnost a lepší mechanické vlastnosti, přičemž se stále snadno tiskne, jak je uvedeno na webových stránkách firmy Průša [3]. Pro tisknutí filamentu PETG je doporučený texturovaný (hrubý) tiskový plát a ten jsem také použil. Oproti hladkému tiskovému má hrubý dvě výhody. První je, že na něm tištěné díly lépe drží. Druhá výhoda není zásadní pro funkčnost dílů, je spíše estetická. Textura Hrubého plátu se obtiskne na stranu dílu přiléhající k podložce. Také se ztrácejí trasy, ve kterých byl materiál kladen na podložku oproti dílům tištěným na hladkém plátu kde jsou značně viditelné.



Obr. 38. Ukázka výtisků z A) hladkého B) hrubého tiskového plátu.

4.2. Nastavení programu PrusaSlicer

PrusaSlicer je software volně stažitelný na webových stránkách firmy Průša [3] určený k tomu, aby na základě 3D modelu vytvořil program, podle kterého tiskárna vytvoří požadovanou součást. Veškeré díly byli tisknuty vrstvou o tloušťce 0,15 mm, toto nastavení je kompromis mezi rychlostí tisku a kvalitou tištěných dílů. Perimetry byly běžně tisknuty tři. Výplň jsem běžně používal 30 %, pouze pro díly velice malé nebo namáhané jsem používal procento výplně větší. Vzor vnitřní výplně jsem používal “mřížku” jeden ze základních vzorů. Také jsem využil možnosti “kombinované výplně” která zkracuje celkovou tiskovou dobu tím, že perimetry (vnější vrstvy) tiskne vrstvou 0,15mm a výplně (vnitřní vrstvy) vrstvou 0,30 mm. Hodnota teplot pro podložku a trysku je doporučena výrobcem.



Obr. 39. Pohled dovnitř tištěného dílu v PrusaSliceru perimetry + výplň.

4.2.1. Výjimečné nastavení programu PrusaSlicer

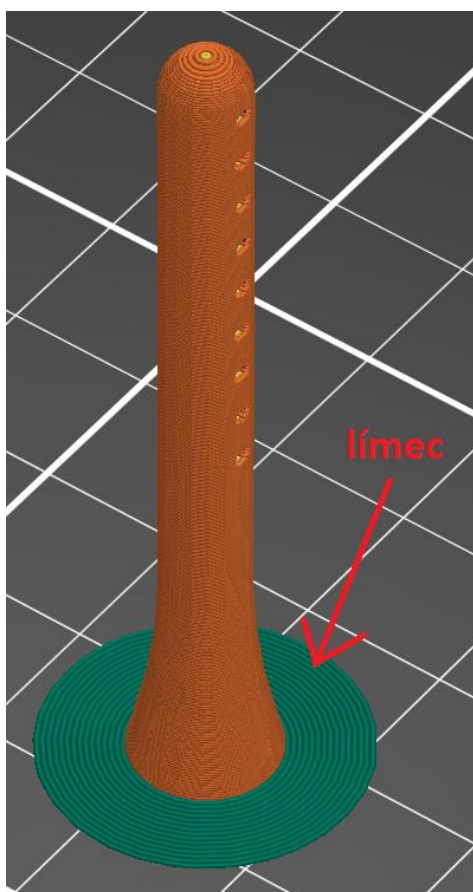
Existují nastavení, která se používají, chceme-li se vyhnout specifickým vadám tisku. Tyto vady jsou například oddělení součástky od podložky během tisku nebo zborcení součástky.

Oddělení od podložky se může vyskytnout u součástek s malou kontaktní plochou, během tisku se zpravidla oddělují celé. Také se může vyskytnout u velice rozměrných součástek, oddělují se pouze částečně v blízkosti rohů a ostrých hran. U větších dílů odlepení způsobuje nerovnoměrné prohnutí vytisknuté části a smrštivost materiálu. Tomu je možné jednoduše zabránit použitím límce, který se vytiskne po obvodu součástky v tloušťce jedné

vrstvy, tím zvýší kontaktní plochu s podložkou. Límec se musí po sejmutí součástky z podložky odstranit.



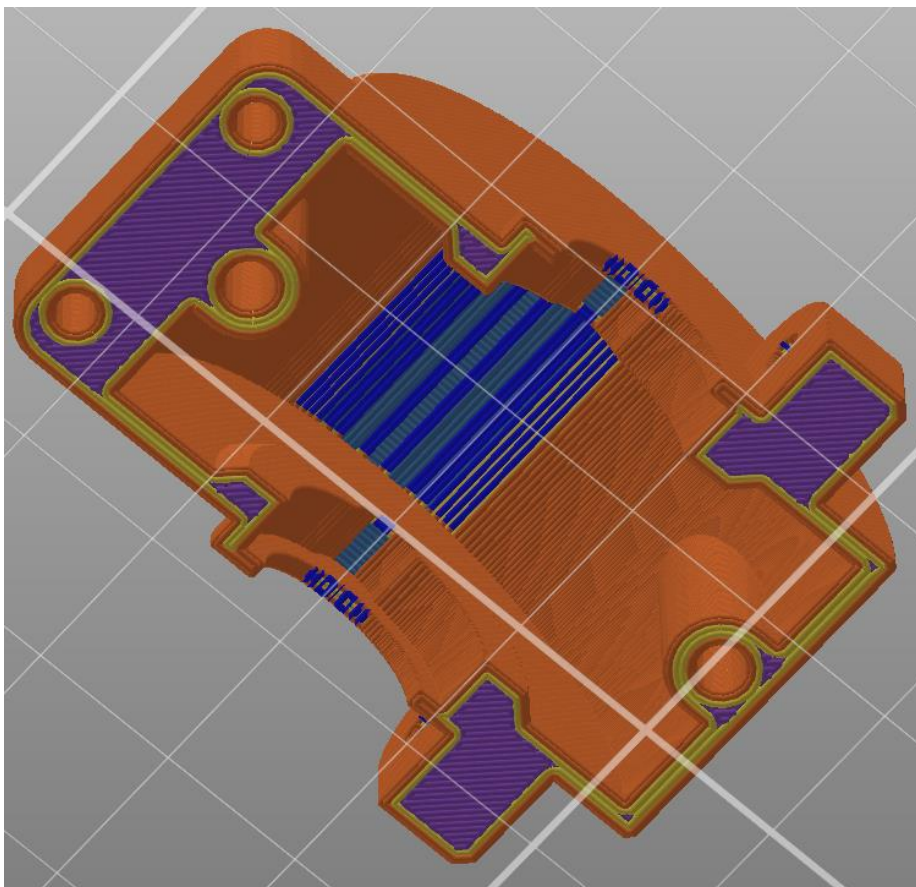
Obr. 40. Ukázka oddělení součásti od podložky.



Obr. 41. Ukázka límce (přední sloupek držící karoserii).

Zborcení se vyskytuje, protože není možno tisknout “do vzduchu”. Předejít zborcení je možné vytisknutím podpěr, ale i ty občas selžou. Podpěry bylo nutné vytisknout například

u skříně diferenciálu. Tmavě a světle modrá barva v následujícím obrázku vyznačuje převisy místa, pod které bude s největší pravděpodobností nutné tisknout podpěry.



Obr. 42. Ukázka nutnosti podpěr ve skříní diferenciálu.

Následuje obrázek téměř všech tištěných dílů podvozku mimo nárazníky a sloupků držících karoserii. Celková doba tisku činí téměř 40 hodin, v těchto čtyřiceti hodinách není započítané nahřívání a chladnutí tiskárny.

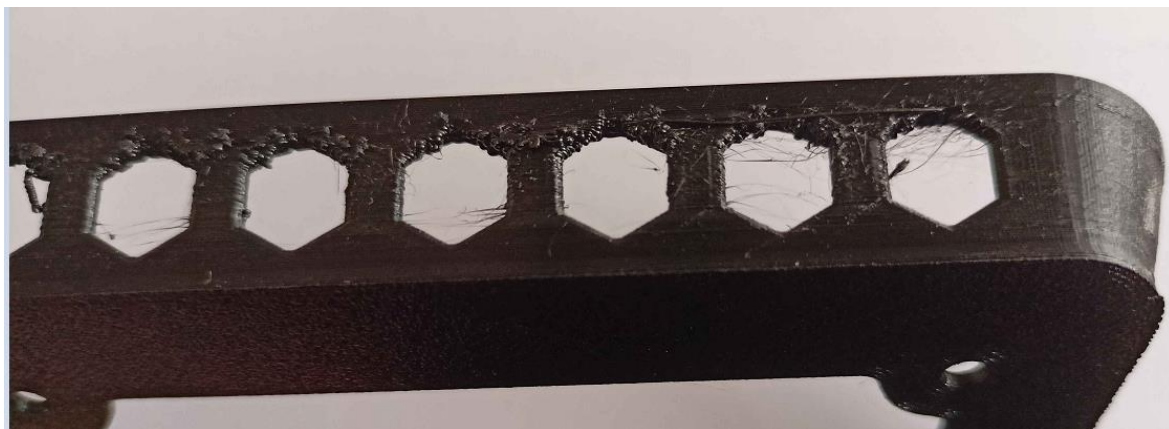


Obr. 43. Veškeré vytištěné součástky mimo nárazníky a sloupky držících karoserii.

5. Práce prováděné na 3D tištěných dílech

5.1. Odstraňování nedokonalostí tisku

Nejčastěji jsem se potýkal se “stringováním”. Stringování je typické pro materiál PETG. Jde o situaci, kdy se při tisku obzvlášť při přejezdech táhnou za tryskou vlasečnice filamentu. Vytisknutá součást se potom může jevit jako “chlupatá”. Tyto vlasečnice je nejjednoduší odstranit kartáčkem. Při nadměrném množství vlasečnic lze použít fén na vlasy nebo zapalovač. Občas se také stává, že se vlasečnice filamentu slepí a uchytí se na trysce, později během tisku se od trysky oddělí a na tiskové součásti vytvoří “hrudku” materiálu, kterou není možné odstranit dříve zmíněnými způsoby. Pro odstraňování těchto “hrudek” jsem používal skalpely nebo pilník.



Obr. 44. Ukázka ne úplně povedeného výtisku (nejedená se o součástku auta).

5.2. Převrtávání otvorů

Jak jsem již dříve zmínil otvory, jejichž osa je při tisku rovnoběžná s podložkou, se nevytisknou zcela kulaté. Otvory, jejichž osa je kolmá na podložku tiskárny, jsou mnohem kulatější, ale stále v nich jsou zřetelné vrstvy po tisku. Rozměr otvorů nemusí vždy také přesně odpovídat. Z toho důvodu jsou veškeré otvory, kterými prochází šrouby nebo čepy, vymodelovány menší a následně převrtány vrtákem vhodného rozměru.

5.3. Spojování dílů

5.3.1. Tvorba závitu v tištěných dílech

Otvory, ve kterých chceme vytvořit závit, musí také být předvrtané na vhodný rozměr. Pro šrouby M3 se stoupáním závitu 0,5mm je vhodný průměr otvoru 2,5mm.

DOPORUČENÉ PRŮMĚRY VRTÁKŮ PRO ZÁVITY MATIC

Výběr z ČSN 01 4090
Účinnost od 1. 5. 1977 a od 1. 6. 1983

Rozměry v mm

Závit		Malý průměr závitu matice tolerance					Průměr vrtáku	Závit		Malý průměr závitu matice tolerance					Průměr vrtáku
jmenovitý průměr	stoupání	5H max.	6H max.	7H max.	5H, 6H, 7H min.			jmenovitý průměr	stoupání	5H max.	6H max.	7H max.	5H, 6H, 7H min.		
1	0,25	0,785	0,800	—	0,729	0,75	10	1,5	8,612	8,676	8,751	8,376	8,50		
1,1	0,25	0,885	0,900	—	0,829	0,85		1,25	8,859	8,912	8,982	8,647	8,80		
1,2	0,25	0,985	1,000	—	0,929	0,95		1	9,107	9,153	9,217	8,917	9,00		
1,4	0,3	1,142	1,160	—	1,075	1,10		0,75	9,338	9,378	9,424	9,188	9,20		
1,6	0,35	1,301	1,321	—	1,221	1,25		1,5	9,612	9,676	9,751	9,376	9,50		
1,8	0,35	1,501	1,521	—	1,421	1,45	11	1	10,107	10,153	10,217	9,917	10,00		
2	0,4	1,657	1,679	—	1,567	1,60		0,75	10,338	10,378	10,424	10,188	10,20		
2,2	0,45	1,813	1,838	—	1,713	1,75		1,75	10,371	10,441	10,531	10,106	10,20		
2,5	0,45	2,113	2,138	—	2,013	2,05	12	1,5	10,612	10,676	10,751	10,376	10,50		
	0,35	2,201	2,221	—	2,121	2,15		1,25	10,859	10,912	10,982	10,647	10,80		
<u>3</u>	<u>0,5</u>	2,571	2,599	2,639	2,459	<u>2,50</u>		1	11,107	11,153	11,217	10,917	11,00		
	0,35	2,701	2,721	—	2,621	2,65	14	2	12,135	12,210	12,310	11,835	12,00		
								1,5	12,612	12,676	12,751	12,376	12,50		

Obr. 45. Tabulka doporučených vrtáků pro závity matic. [4]

Pro vytvoření závitů jsem používal sadové závitníky a vratidlo. Vytvoření závitu sadovými závitníky probíhá ve třech krocích, nejprve se za vydatného mazání do převrtaného otvoru “zašroubuje” závitník označený jedním proužkem poté ten s dvěma proužky, nakonec závitník bez proužků.



Obr. 46. Závitníky + vratidlo.

5.3.2. Lepení

K lepení jsem používal vteřinové středně husté modelářské lepidlo, které je schopno lepit mnoho materiálů včetně plastů. Lepené plochy se musí před nanesením lepidla odmastit a po slepení nechat vytvrdnout 24 hodin.



Obr. 47. Lepidlo.

5.3.3. Čepové a nalisované spoje

Čepové spoje jsou uskutečněné vytvořením otvoru vhodného rozměru pro daný čep. Vytvářením otvoru o průměru menším, než má daný čep, získáme startovní rozměr otvoru, následně otvor postupně zvětšujeme, dokud nebude možné silou čep do otvoru natlačit. Pokud budeme otvor dále zvětšovat, čep bude v otvoru “volnější” a začne umožňovat otáčivý pohyb. Uložením čepu do otvorů o různých průměrech získáme čep pojištěný proti působení osových sil a zároveň umožňující otáčivý pohyb. Takto jsou spojena například zadní spodní ramena s ložem diferenciálu.

6. Kompletace podvozku

Během skládání podvozku jsem zkracoval mnoho šroubků, vyráběl čepy požadovaných délek a doladřoval rozměry tištěných dílů pilníkem. Stavbu jsem začal slepením spodní části plata a přišroubováním postranic a zadní stěny. Následně jsem přimontoval hlavní část řízení a nosné rámy přední nápravy.



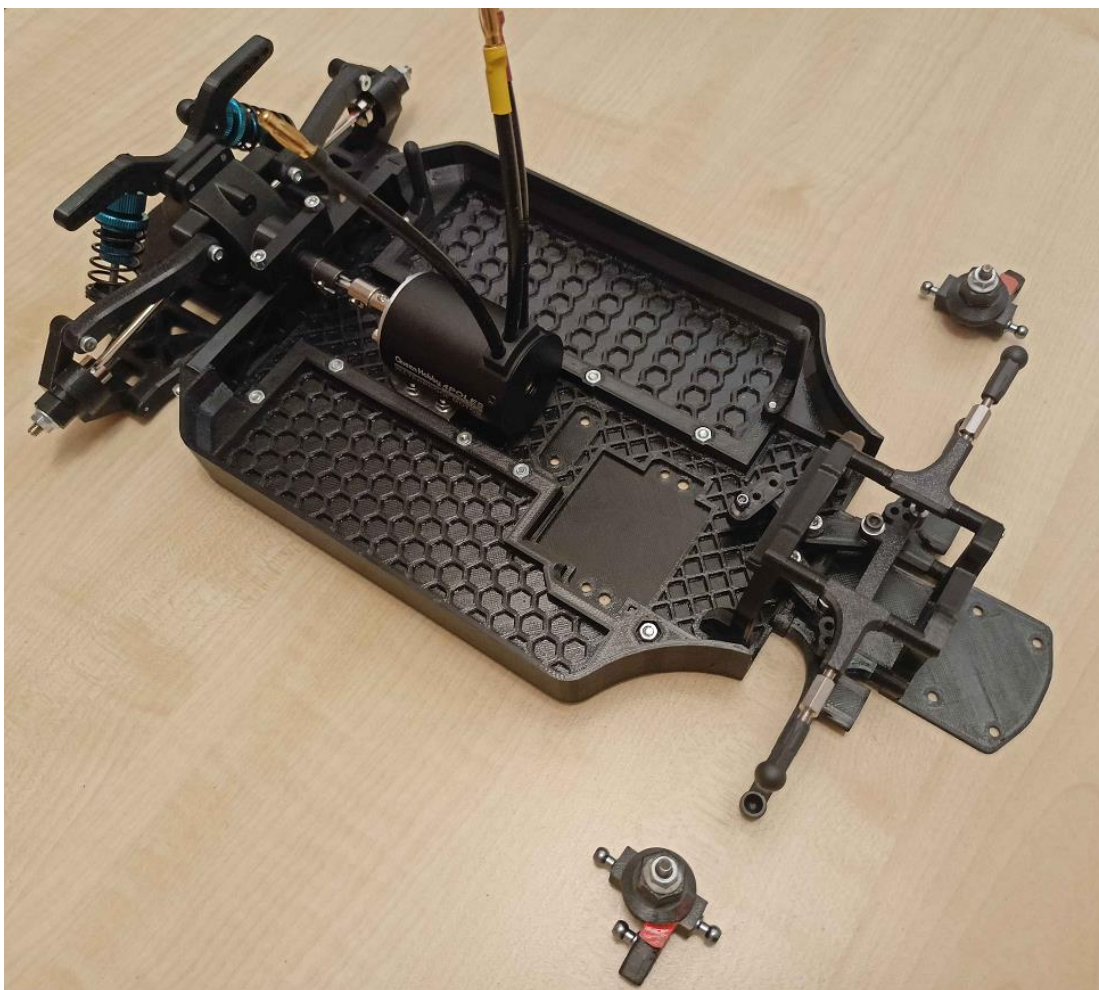
Obr. 48. Začátek kompletace.

Pokračoval jsem v sestavování přední nápravy. Předklon kola se nepoužívá a záklon kola napomáhá auto v jízdě rovně, proto jsem ponechal “záklon” kola (caster angle) neutrální. Na mechanismus řízení jsem našrouboval kulové čepy. Sestavil jsem skříň diferenciálu a společně s ložem přišrouboval k platu. K loži jsem připevnil spodní ramena a k nim slepené těhlice s ložisky. Zkompletoval jsem i kola a namontoval zadní tlumiče.



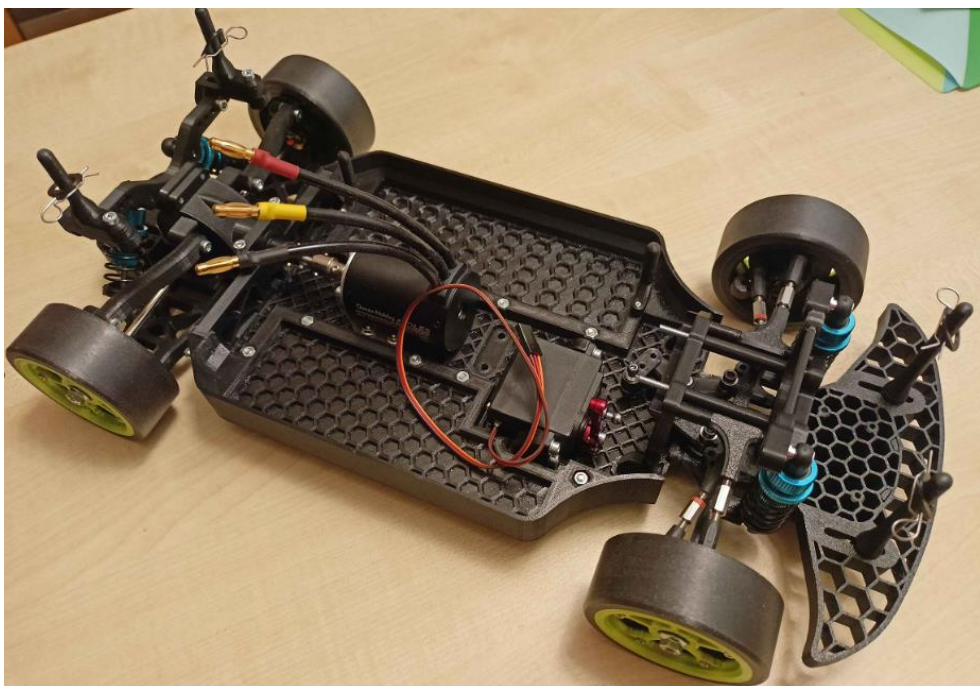
Obr. 49. Pokračování kompletace.

Dále jsem na zadní nápravu namontoval horní ramena, mezi diferenciál a osy kol vložil poloosy a tím byla zadní náprava kompletní. Slepil jsem přední těhlice, osadil je ložisky, kulovými čepy a osami kol. Osy kol, jak jsem později zjistil, při větším úhlu zatočení narážely svou částí pro upevnění poloos do táhel řízení. Poněvadž přední náprava není hnaná a upevňování poloos nepřipadá v úvahu, tak jsem se rozhodl narážející část os ubrousit. Dále jsem na přední nápravu přišrouboval spojovací tyče a oka pro kulové čepy. Z kusu hliníkového “L” profilu jsem vyrobil držák motoru a ten jsem se spojkou diferenciálu také upevnil k podvozku.



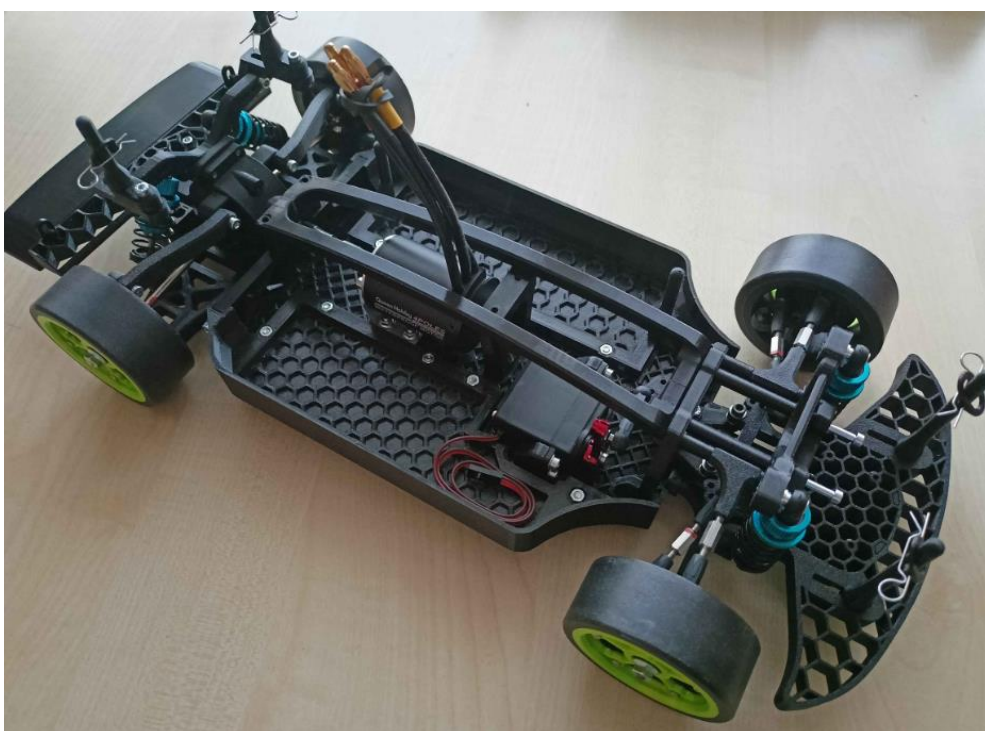
Obr. 50. Pokračování kompletace II.

Těhlice jsem spojil se zbytkem přední nápravy a řízením. Také jsem přimontoval tlumičovou hrazdu s tlumiči. K platu jsem upevnil servomotor se servopákou a kulovým čepem. V tuto chvíli už jsem mohl odhadnout, kolik budu mít prostoru pro tvorbu nárazníků a kam bude potřeba umístit sloupky pro karoserii. Začal jsem vytvořením předního nárazníku a na něm otvorů pro sloupky k uchycení karosérie



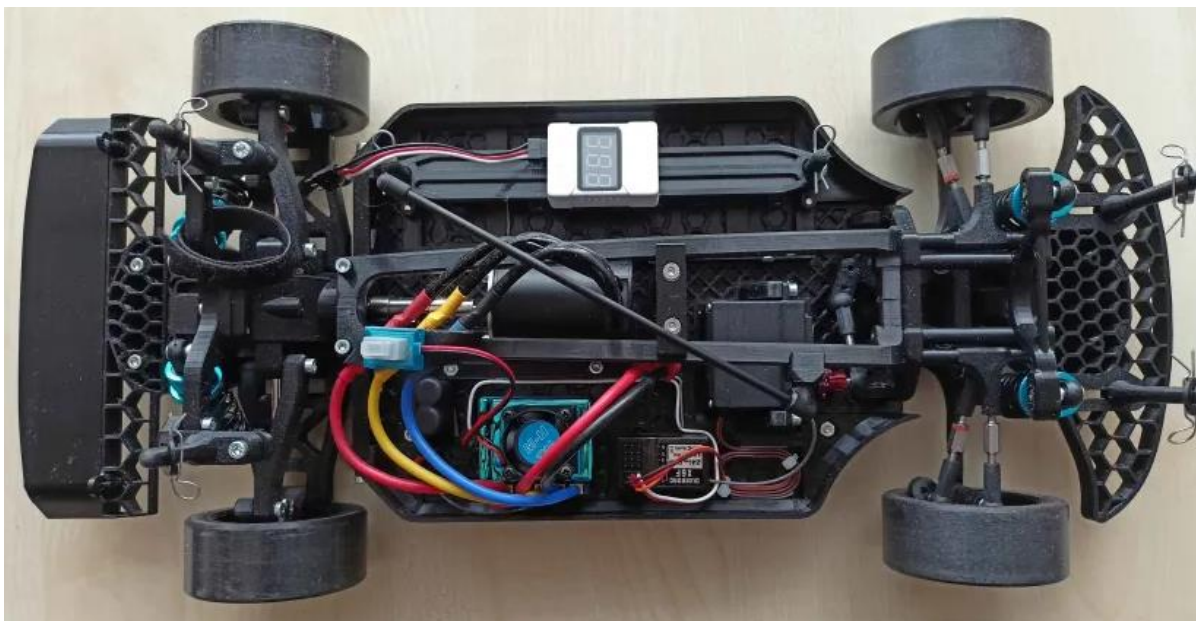
Obr. 51. Pokračování kompletace III.

Dokončil jsem práce na zadním nárazníku, také jsem slepil a namontoval horní vzpěru. Servomotor jsem závitovou tyčí a dvěma oky pro kulové čepy spojil s řízením.



Obr. 52. Pokračování kompletace IV.

Do podvozku jsem oboustrannou lepicí páskou připevnil regulátor a přijímač. Také jsem vymodeloval, vytiskl a namontoval držák antény přijímače. Uspořádal jsem kabely a po dvou týdnech a téměř sedmdesáti hodinách práce byl podvozek sestavený.



Obr. 53. Sestavený podvozek (bez akumulátoru).

7. Seřízení podvozku

7.1. Tlumiče

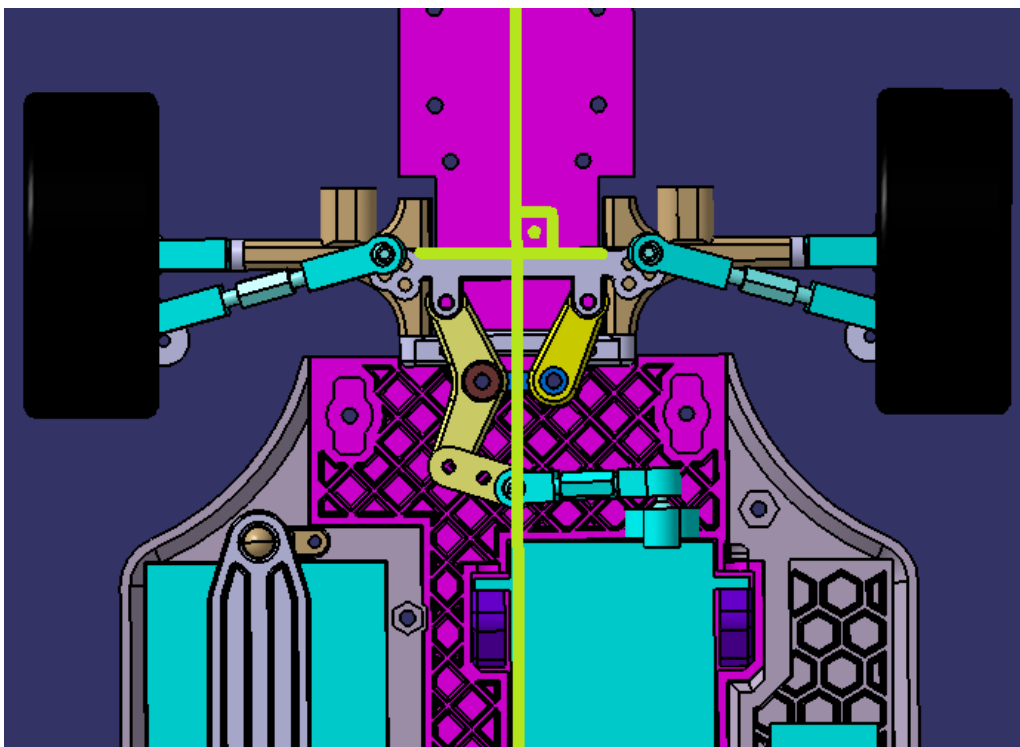
Tlumiče se seřizují, až když je model plně sestavený osazený elektronikou a vším, co k němu bude přidělané při ježdění, aby seřízení tlumičů odpovídalo jeho hmotnosti. Zadní tlumiče jsou díky naklonění a upevnění k ramenům dále od středu auta tužší, nebylo potřeba zvyšovat předpětí pružin. Přední tlumiče z důvodu upevnění blíže ke středu auta a téměř kolmému uložení jsou velice měkké, proto jsem zvýšil předepjetí pružin přitažením matice, o kterou se pružina opírá.

7.2. Odklon kol na přední nápravě

Odklon kol jsem seřídil přiložením úhelníku k vnější straně kol a otáčením spojovací tyče na horním rameni. Seřídil jsem ho tak, aby se kolo dotýkalo podkladu celou plochou, je v neutrální poloze (odklon 0°).

7.3. Sbíhavost/rozbíhavost kol na přední nápravě

Dříve než jsem se mohl zabývat tím, kam směřují kola, jsem musel umístit páku (Obr. 9.) na servomotor tak, aby byla kolmo k platu. Toho ovšem nelze přesně docílit, protože na výstupu ze servomotoru jemné drážkování stejně jako v páce. Přesnou polohu páky jsem doladil na vysílači. Následně jsem musel zajistit, že vahadlo řízení bude kolmé na podélnou osu auta nastavením délky spojovací tyče spojující páku servomotoru a levé rameno řízení.



Obr. 54. Seřizování řízení.

Nyní jsem se mohl pustit do nastavení délek spojovacích tyčí, které spojují vahadlo řízení a těhlice. Prozatím jsem nenastavoval sbíhavost ani rozbíhavost a nechal kola v neutrální poloze.

7.4. Nastavení regulátoru

Regulátor se nastavuje pomocí programovací karty, která se k němu připojuje kabelem. Karta sama o sobě nám neřekne moc o tom, co nastavujeme, proto musíme mít po ruce manuál, se kterým je regulátor prodáván. Původní nastavení regulátoru jsou na následujícím obrázku vyznačená černě. Obzvláště důležitý je bod 1, v něm se volí, jestli model bude schopen jet dopředu brzdit a couvat nebo jet dopředu a brzdit (v některých závodech je zakázáno mít zaktivovanou možnost couvat). Zbylá nastavení záleží na “řidiči”. Já jsem upravil nastavení v bodech 7 a 8. Protože model má kluzká kola umožňující driftování, je obtížné s ním zastavit, proto jsem počáteční brzdou sílu zvětšil na 11 % (bod 7) a brzdou sílu (bod 9) zvýšil také na 11 %. U bodu 9 pravděpodobně nastala jakási chyba v předkladu, protože zapnutí tohoto nastavení v praxi znamená to, že při puštění plynu začne

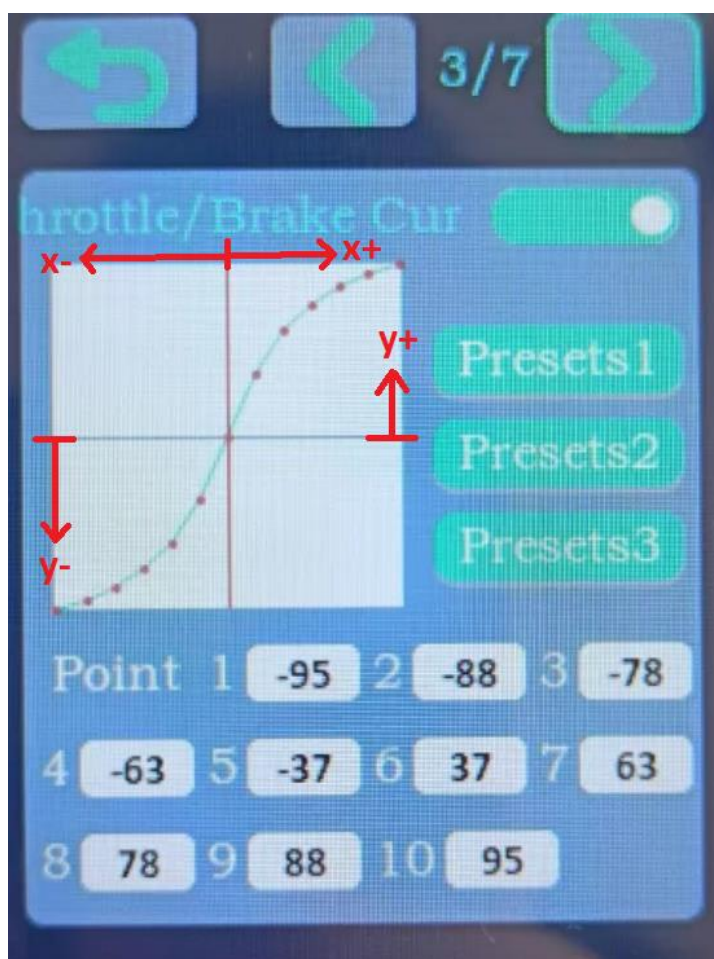
auto automaticky brzdí brzdou silou 11 % ještě předtím, než se řidič dotkne brzdy. Zbýlá nastavení jsem ponechal tak, jak jsou nastavená od výrobce.

Programming Projects (First Line LED)				
	1	2	3	4
1: Operation model	Positive rotation band brake	Direct positive and negative inversion	Positive belt proportional brake	Positive and Reverse Belt Proportional Brake
2: Motor Rotation Direction	Positive rotation	Reversal		
3: Start mode	1 level	2 level	3 level	4 level
4: Minimum Forward Strength	5%	7%	9%	12%
5: Minimum backing strength	5%	7%	9%	12%
6: Maximum Backing Strength	23%	32%	40%	49%
7: Initial braking strength	0%	5%	11%	16%
8: Maximum braking strength	0%	11%	22%	33%
9: Braking force	0%	11%	22%	33%
10: Neutral point range	2%	2.3%	2.6%	3.0%
11: Brake frequency	16KHz	8KHz	4KHz	2KHz
12: lithium saving	Automatic recognition	2S	3S	4S
13: Low Voltage Protection Threshold	2.6V	2.7V	2.8V	2.9V
14: Low Voltage Protection	No protection	Protect		
15: Reverse maximum throttle stroke	0.9ms	0.933ms	0.967ms	1ms
16: Forward maximum throttle stroke	1.8ms	1.833ms	1.867ms	1.9ms
17: Synchronized rectification	Close	Open		

Obr. 55. Část manuálu regulátoru.

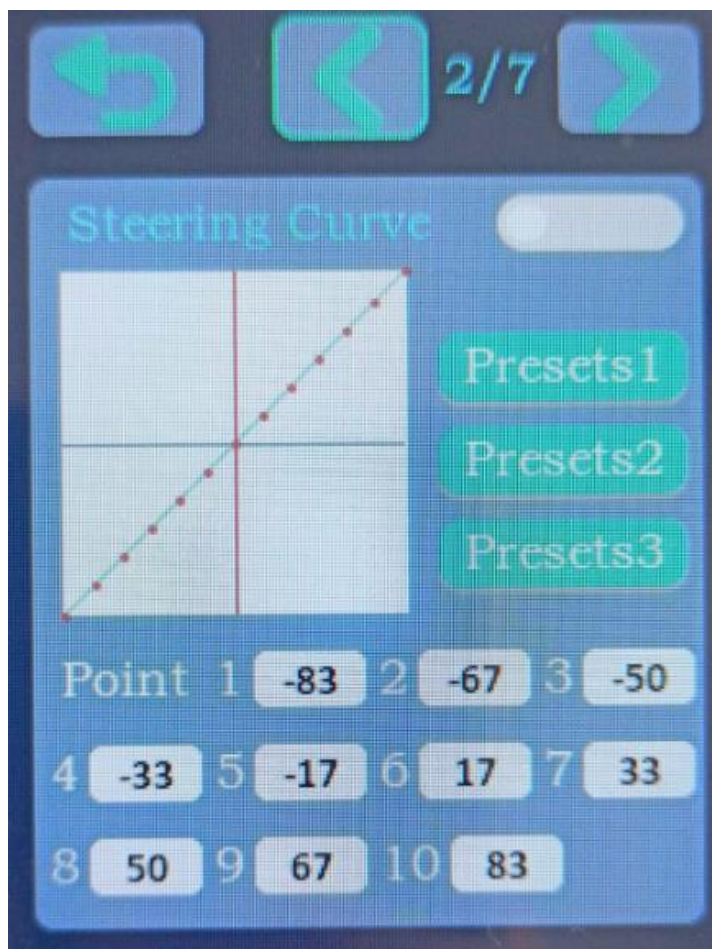
7.5. Nastavení vysílače

Na vysílači jsem musel otočit směr otáčení motoru, protože v původním nastavení mi auto při “sešlápnutí” plynu (vpřed) couvalo. Také jsem využil výrobcem nadefinovanou nelineární charakteristiku upravující poměr mezi “sešlápnutím” plynu ku otáčkám motoru a “sešlápnutím” brzdy ku brzdnému účinku, jak je vidět na následujícím obrázku.



Obr. 56. Charakteristika plynu a brzdy.

Na části osy označené x^- je znázorněno “sešlápnutí plynu” a na ose označené y^- jsou znázorněné otáčky motoru. Jak lze vidět při počátečním “sešlápnutím” plynu otáčky stoupají rychle a ke konci kroku plynu stoupají pomaleji. Na části osy označené y^+ je “sešlápnutí” brzdy a na ose označené x^+ je znázorněný brzdňý účinek. Stejně jako u plynu při počátečním “sešlápnutí” brzdy přibývá brzdňý účinek rychle a ke konci kroku brzdy přibývá pomaleji. Pro zatáčení jsem ponechal charakteristiku lineární. Zatočení volantu v každém bodě přesně odpovídá zatočení kol.



Obr. 57. Charakteristika zatáčení.

8. Závěr

Cílem mé maturitní práce bylo navrhnout, vyrobit, sestavit a jízdy uschopnit rádiem řízený model auta určeného k driftování, projíždění zatáček řízeným přetáčivým smykem. Model byl zkonstruován v programu CATIA a většina dílů podvozku byla vyrobena 3D tiskem na mojí tiskárně. Na podvozku je do určité míry nastavitelný rozvor a rozchod kol. Model má elektromotorem hnanou zadní nápravou. Na přední nápravě jsem docílil velkého úhlu zatočení kol a několika nastavitelných parametrů (odklon kol, sbíhavost kol a caster angle). Tuhost podvozku, u které jsem se obával, že nebude dostačující, vyšla díky krokům, které jsem podnikl pro její zlepšení, velice dobře. Nastavení elektroniky proběhlo bez problémů.



Obr. 58. Ukázka maximálního zatočení kol (lze porovnat s obrázkem č.25 na straně 23).



Obr. 59. Model s karoserií.

9. Seznam použité literatury

[1] sešit stavby a provozu strojů (SPS) vyučující: Ing. Jaromír Mičík

[2] Readytosky Official Store. 3650 2300KV Brushless Motor & 45A 60A 80A 120A ESC with Program Car Combo for 1:10 RC Car RC Boat Part. Aliexpress.com [online]. [cit. 19. 2. 2025].

Dostupné z:

https://vi.aliexpress.com/item/1005001824295602.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.61.48b81802piOPxF&gatewayAdapt=glo2vnm

[3] Webové stránky firmy Průša [online]. [cit. 24. 3. 2025].

Dostupné z:

https://www.prusa3d.com/cs/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=CZ_Search_Text_Brand&utm_id=14828734546&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwhYS_BhD2ARIsAJTMMQbFioyqy4mNI1h5z8JPhwhL2l68xftsDnepLjDhhGXjL9BanVk0820aAngnEALw_wcB

[4] Ing. Jiří Leinceber a Ing. Pavel Vávra. strojnické tabulky. Havlíčkova 197, 250 82 Úvaly. Albra, spol. s.r.o. Havlíčkova 197 Úvaly v roce 2021. 7. vydání. Učebnice pro školy technického zaměření. ISBN 80-7361-1244

10. Seznam Obrázků

Obr. 1. "Vnitřnosti" diferenciálu.

Obr. 2. Osa kola a poloosa (zadní).

Obr. 3. Spojka diferenciálu s motorem.

Obr. 4. Tlumič.

Obr. 5. Kulový čep.

Obr. 6. Oka kulových čepů + spojovací tyč.

Obr. 7. Ložiska.

Obr. 8. Servomotor.

Obr. 9. Páka servomotoru.

Obr. 10. Motor + regulátor + programovací karta. [2]

Obr. 11. Vysílač.

Obr. 12. Přijímač.

Obr. 13. Ukázka nekulatosti u vrcholu kruhového otvoru.

Obr. 14. Otvor pro uložení ložiska v diferenciálu.

Obr. 15. Přední polovina skříně.

Obr. 16. Zadní náprava pohled zezadu.

Obr. 17. Část zadní nápravy.

Obr. 18. Šestihran.

Obr. 19. Celá zadní náprava (schované levé kolo).

Obr. 20. Nastavitelnost odklonu (pohled z předu).

Obr. 21. Nastavení záklonu kola (pohled z boku).

- Obr. 23. Sbíhavost/rozbíhavost kol.
- Obr. 24. Celá přední náprava (schované levé kolo).
- Obr. 25. Ukázka maximálního teoretického zatočení kol.
- Obr. 26. Základ nosné části.
- Obr. 27. Základ nosné části + postranice.
- Obr. 28. Základ nosné části + postranice + zadní stěna.
- Obr. 29. Prostor pro umístění elektroniky.
- Obr. 30. Uchycení motoru.
- Obr. 31. Co je zatím hotovo na podvozku.
- Obr. 32. Horní vzpěra.
- Obr. 33. Podpora horní vzpěry (levá polovina horní vzpěry schovaná).
- Obr. 34. Přední nárazník + detail háčku.
- Obr. 35. Zadní nárazník + protikus zobáčku.
- Obr. 36. Sloupky na zadní hrazdě.
- Obr. 37. Sloupky na předním nárazníku.
- Obr. 38. Ukázka výtisků z A) hladkého B) hrubého tiskového plátu.
- Obr. 39. Pohled dovnitř tištěného dílu v PrusaSliceru perimetru + výplň.
- Obr. 40. Ukázka oddělení součásti od podložky.
- Obr. 41. Ukázka límce (přední sloupek držící karoserii).
- Obr. 42. Ukázka nutnosti podpěr ve skříni diferenciálu.
- Obr. 43. Veškeré vytištěné součástky mimo nárazníky a sloupky držících karoserii.
- Obr. 44. Ukázka ne úplně povedeného výtisku (nejedená se o součástku auta).
- Obr. 45. Tabulka doporučených vrtáků pro závity matic. [4]

Obr. 46. Závitníky + vratidlo.

Obr. 47. Lepidlo.

Obr. 48. Začátek kompletace.

Obr. 49. Pokračování kompletace.

Obr. 50. Pokračování kompletace II.

Obr. 51. Pokračování kompletace III.

Obr. 52. Pokračování kompletace IV.

Obr. 53. Sestavený podvozek (bez akumulátoru).

Obr. 54. Seřizování řízení.

Obr. 55. Část manuálu regulátoru.

Obr. 56. Charakteristika plynu a brzdy.

Obr. 57. Charakteristika zatáčení.

Obr. 58. Ukázka maximálního zatočení kol (lze porovnat s obrázkem 25 na 23 stránce).

Obr. 59. Model s karoserií.