

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vozidlo s vysokou průchodností terénem

Anotační list

Jméno autora:	Bc. Jan Halda
Název diplomové práce:	Vozidlo s vysokou průchodností terénem
Anglický název:	Vehicle with high off-road capability
Akademický rok:	2019/2020
Studijní obor:	Aplikovaná mechanika
Ústav, obor:	Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky Odbor mechaniky a mechatroniky
Vedoucí diplomové práce:	Ing. Jan Zavřel, Ph.D.
Bibliografické údaje:	62 stran 74 obrázků
Klíčová slova:	průchodnost terénu, vozidlo, Matlab, optimalizace
Key words:	terrain passability, vehicle, Matlab, optimization

Abstrakt: Tato práce se zabývá vývojem, analýzou a optimalizací vozidla s vysokou průchodností. Zavěšení kol je založeno na popisu v patentu 206618 a inspirováno již hotovým modelem. Celý model je koncipovaný tak, aby bylo možné vyrobit reálný model, a to za pomoci 3D tisku. Řízení a elektronika modelu je vyvinuta za pomoci platformy Arduino. Analýza a optimalizace je provedena v prostředí Matlab a Simulink.

Abstract: This diploma thesis deals with development, analysis and optimization of a vehicle with high level of passability. Wheel suspension is based on findings in patent 206618 and inspired with already existing model. Whole model is drawn in the way, so it is possible to have it 3D printed. Control unit and electronics of the model is developed using Arduino platform. The analysis and optimization are done in Matlab and Simulink environment.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu citovaných zdrojů.

.....

Místo a datum

.....

Podpis

Poděkování

Děkuji Ing. Janu Zavřelovi, Ph.D., vedoucímu mé diplomové práce, za odborné vedení, cenné rady a vstřícnost při konzultování problematiky této práce.

Obsah

Seznam obrázků	8
Úvod	10
Cíle práce	11
1. Podvozky s vysokou průjezdností terénu	12
1.1 Podvozek s koly	12
1.2 Podvozek s pásy	13
1.3 Kloubový podvozek s nohami	13
1.4 Kombinace kol a nohou	14
1.4.1 Koncept podvozku s koly a klouby	14
2. Reálné vozy s vysokou průchodností	15
2.1 Overcomer Hunta	15
2.2 Ripsaw EV Series (Extreme Vehicles)	16
2.3 Chainlink Extreme 4x4	17
3. Přístupy řešení kinematiky mechanismu	18
3.1 Přímá (dopředná) kinematika	18
3.2 Inverzní kinematika	18
3.3 Metody řešení kinematických smyček	19
3.3.1 Transformační matice pro maticové metody	19
3.3.2 Maticová metoda uzavřené smyčky	20
3.3.3 Maticová metoda řezu smyčkou	20
3.3.4 Maticová metoda vyjmutí tělesa	20
3.4 Matlab & Simulink	21
3.4.1 Simscape Multibody	21
4. Řídící jednotky	22
4.1 PLC	22
4.2 Arduino	23
4.3 Raspberry Pi	24
5. Popis mechanismu v patentu	25
5.1 Mechanismus zavěšení kola	25
5.2 Kolo	26
5.3 Pohon	26

5.4	Primární osa	26
5.5	Sekundární osa	27
6.	Tvorba modelu	28
6.1	Původní model	28
6.2	Koncepty řešení vertikálního vyrovnávání kol	29
6.3	Součásti modelu	30
6.3.1	Rám vozidla	32
6.3.2	Podpora odpružení.....	33
6.3.3	Přední nápravová tyč	34
6.3.4	Zadní nápravová tyč	35
6.3.5	Přední spojovací součást.....	37
6.3.6	Zadní spojovací součást.....	39
6.3.7	Kolo	40
6.4	Model v prostředí Matlab a Simulink.....	41
6.4.1	Zavěšení kola	42
6.4.2	Modelování reálné zátěže	46
6.4.3	Modelování podložky	46
6.4.4	Tvorba dráhy pro testování průjezdnosti.....	48
6.4.5	Optimalizace tuhostí pružin	50
6.5	Stavba fyzického modelu	52
6.5.1	Tisk součástí	53
6.5.2	Výroba povrchu kol pro lepší adhezi	53
6.5.3	Tvorba vazeb mezi součástmi	54
6.5.4	Pohon	55
6.5.5	Elektronika	55
6.5.6	Ovládání modelu	57
	Závěr.....	60
	Seznam zdrojů.....	61

Seznam obrázků

Obrázek 1: Terénní vozidlo s koly [2]	12
Obrázek 2: Vozidlo s pásy [3]	13
Obrázek 3: Koncept vozidla s nohami a koly [4]	13
Obrázek 4: Podvozek s koly a klouby [1]	14
Obrázek 5: Přední kloub [1] Obrázek 6: Uložení zadních kol [1]	14
Obrázek 7: Overcomer Hunta [7]	15
Obrázek 8: Ripsaw EV [10]	16
Obrázek 9: Chainlink Extreme 4x4 [12]	17
Obrázek 10: Siemens PLC [19]	22
Obrázek 11: Arduino UNO [18]	23
Obrázek 12: Raspberry Pi 2 [21]	24
Obrázek 13: Závěšení kola [22]	25
Obrázek 14: Příčný řez kola [22]	26
Obrázek 15: Původní model.....	28
Obrázek 16: Závěšení kola původního modelu	28
Obrázek 17: Model vozidla - prostorový pohled.....	30
Obrázek 18: Model vozidla - pohled z boku	30
Obrázek 19: Model vozidla - pohled shora	31
Obrázek 20: Model vozidla - pohled zepředu	31
Obrázek 21: Rám vozidla - prostorový pohled	32
Obrázek 22: Rám vozidla - díry pro kola.....	32
Obrázek 23: Rám vozidla - díra pro podporu odpružení	32
Obrázek 24: Podpora odpružení	33
Obrázek 25: Podpora odpružení - díry pro připojení odpružení.....	33
Obrázek 26: Podpora odpružení - díry pro nastavitelnost výšky vůči rámu vozidla	33
Obrázek 27: Přední nápravová tyč	34
Obrázek 28: Přední nápravová tyč - díra pro spojení s rámem vozidla	34
Obrázek 29: Přední nápravová tyč - díra pro připojení odpružení.....	34
Obrázek 30: Přední nápravová tyč - díra pro spojení s přední spojovací součástí.....	35
Obrázek 31: Zadní nápravová tyč.....	35
Obrázek 32: Zadní nápravová tyč - díra pro spojení s rámem vozidla	36
Obrázek 33: Zadní nápravová tyč - díra pro připojení odpružení	36
Obrázek 34: Zadní nápravová tyč - díra pro připojení zadní spojovací součásti	36
Obrázek 35: Přední spojovací součást - prostorový pohled.....	37
Obrázek 36: Přední spojovací součást - pohled z boku.....	37
Obrázek 37: Přední spojovací součást - pohled zepředu	37
Obrázek 38: Přední spojovací součást - díra pro spojení s přední nápravovou tyčí	37
Obrázek 39: Přední spojovací součást - díra pro spojení s kolem vozidla.....	37
Obrázek 40: Přední spojovací součást - díry k připevnění motoru	37
Obrázek 41: Přední spojovací součást - natočení vůči přední nápravové tyči 0°	38
Obrázek 42: Přední spojovací součást - natočení vůči přední nápravové tyči 60°	38

Obrázek 43: Zadní spojovací součást - prostorový pohled	39
Obrázek 44: Zadní spojovací součást - pohled z boku	39
Obrázek 45: Zadní spojovací součást - pohled zepředu.....	39
Obrázek 46: Kolo tvaru duté polokoule	40
Obrázek 47: Celý systém graficky programovaný v prostředí Simulink	41
Obrázek 48: Spojení součástí přes lokální souřadné systémy	42
Obrázek 49: Zavěšení levého předního kola	42
Obrázek 50: Spojení tyče a rámu vozidla rotační vazbou	43
Obrázek 51: Spojení tyče a spojovací součásti s limity rotacni vazby.....	43
Obrázek 52: Pohon rotační vazby přes otáčky.....	44
Obrázek 53: Limity odpružení	45
Obrázek 54: Nastavení odpružení.....	45
Obrázek 55: Model vozidla v prostředí Simscape: Mechanics Explorer	46
Obrázek 56: Model s podložkou v prostředí Mechanics Explorer	47
Obrázek 57: Kontaktní síly mezi koly a podložkou.....	47
Obrázek 58: Profil dráhy	48
Obrázek 59: Dráha pro testování průjezdnosti	48
Obrázek 60: Kontaktní síly mezi koly a radiusy.....	49
Obrázek 61: Funkce optimalizovaná genetickým algoritmem.....	50
Obrázek 62: Skript pro nastavení mezí a volání genetického algoritmu.....	51
Obrázek 63: Fyzický model.....	52
Obrázek 64: Vývoj kola - vnější pohled	53
Obrázek 65: Vývoj kola - vnitřní pohled.....	54
Obrázek 66: Spojka hřídele a motoru	54
Obrázek 67: Elektromotor s redukční převodovou skříní	55
Obrázek 68: Iduino Mega.....	56
Obrázek 69: H můstek L298N.....	56
Obrázek 70: Bluetooth modul HC-06.....	56
Obrázek 71: Programování aplikace v prostředí MIT App Inventor.....	57
Obrázek 72: Aplikace pro ovládání vozidla	58
Obrázek 73: Program pro Arduino - inicializace.....	59
Obrázek 74 Program pro Arduino - část programu.....	59

Úvod

Významnou součástí pohybu po zemi, jinak než lidskou nohou, je možnost dopravit se na všelijaká místa. Pro překonávání velkých vzdáleností existují zpevněné povrchy, které mají velmi ideální podmínky uzpůsobené pro vozidla s koly. Některé činnosti ale vyžadují pohyb v místech, kde žádné cesty nejsou a často to jsou prostředí člověkem téměř nepozměněná, nebo velmi náročná na průjezd. Pro takové potřeby je nutné podvozku, který je optimalizovaný a nastavený tak, aby tato místa úspěšně projel.

V této diplomové práci se věnuji právě takovému typu podvozku, tedy s vysokou průchodností. Tento podvozek je zaměřený na nový typ zavěšení kol.

V teoretické části jsem se věnoval tématům vozidel s vyšší průchodností, dále pak řídicím jednotkám a způsobům řešení mechanických systémů. V praktické části jsem pak navrhl celý model, provedl analýzu a optimalizaci v prostředí Matlab a Simulink, a nakonec také vyrobil fyzický model.

Cíle práce

Cílem této diplomové práce je seznámení se s mechanismem vozidla s vysokou průchodností, které má zavěšení kol založené na patentu 206618. Dílčí cíle pak jsou provedení rešerše na téma vozidel s vysokou průchodností terénem, seznámení se se způsoby řešení kinematiky prostorových mechanismů, návržení kinematiky podvozku a její optimalizace, a nakonec návržení konstrukce a hardwaru modelu vozidla.

1. Podvozky s vysokou průjezdností terénu

Podvozky s vysokou průjezdností mají řadu uplatnění. Pro lesní práce je často nutné projet neupraveným terénem, kde nejrůznější překážky mohou zkomplikovat průjezd. Armádní vozidla mají vysoký předpoklad pro průjezd velkou škálou povrchů a terénů. Od písčitých, bažinatých a kamenitých až po člověkem nepoznamenanou džungli nebo ledový povrch pokrytý hustým sněhem. [1] [2]

Každá překážka je svým způsobem jedinečná a cílem takovýchto vozidel je zdolat co možná největší množství typů překážek. Často ale samotné zdolání překážky nestačí a je nutné, aby tato vozidla také dobře fungovala na upravených a dobře průjezdných cestách. Cílem vývoje takových vozidel je tedy co možná největší všestrannost doplněná spolehlivostí a co možná nejmenší energetickou náročností. [1] [2]

1.1 Podvozek s koly

Výhodou podvozku s koly je možnost rychlé jízdy spolu s dobrou stabilitou na rovinném povrchu. Při přejezdu překážek už ale nejsou tak vhodné. Na méně pevném povrchu pak často mívají větší problémy a je nutné upravit kola, aby měla lepší záběr. [1] [2]



Obrázek 1: Terénní vozidlo s koly [2]

1.2 Podvozek s pásy

Pásový podvozek dokáže velmi dobře projet složitým terénem, jeho nevýhodou je ovšem obrovská energetická náročnost. Dále pak těžko zdolává pevné překážky větších rozměrů. Má výbornou přizpůsobivost na všelijaké menší nerovnosti terénu. Dále může výborně zdat písčité, bahnitý, nebo sněžný až ledový terén. [1]



Obrázek 2: Vozidlo s pásy [3]

1.3 Kloubový podvozek s nohami

Vozidla s nohami mají jednoznačně nejlepší průchodnost ve velmi náročném terénu a jsou schopna překonat téměř každý typ překážky. Jejich nevýhodou je ale relativně pomalý pohyb, složitý mechanismus nohou a nutná komplexní řídicí jednotka. [1]



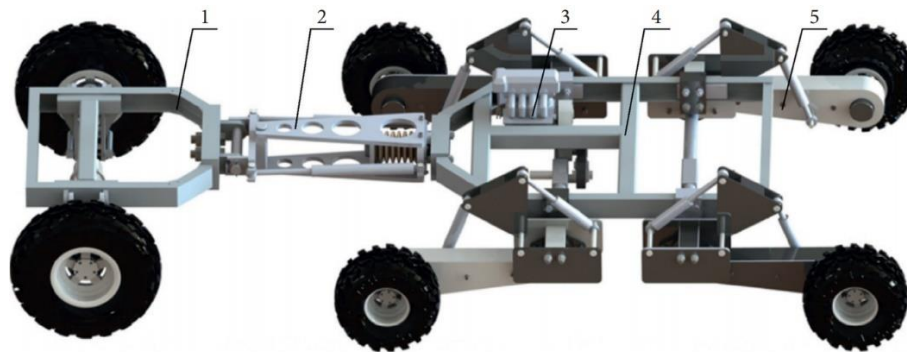
Obrázek 3: Koncept vozidla s nohami a koly [4]

1.4 Kombinace kol a nohou

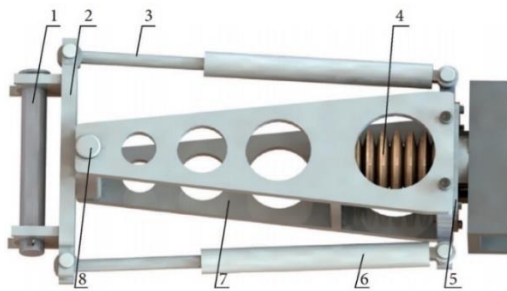
Trendem vývoje v této oblasti je hledání vhodné konfigurace podvozku s koly v kombinaci s kloubovou strukturou. Využitím výhod těchto dvou konfigurací lze dosáhnout lepší průjezdnosti. Pásové pohony jsou velmi dobré pro průjezd méně pevného terénu, ale u větších překážek začínají mít horší vlastnosti. [1]

1.4.1 Koncept podvozku s koly a klouby

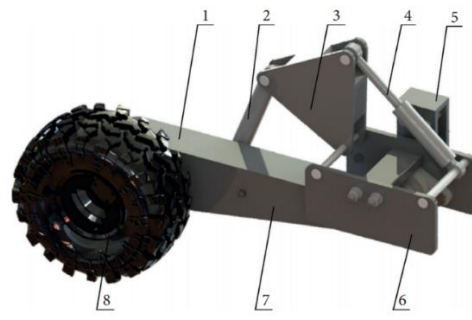
Model analyzovaný ve článku využívá kombinace kol a kloubů (obr. 4). Přední náprava je připevněna ke zbytku podvozku přes vazbu s třemi stupni volnosti. Má funkci rotace okolo hlavní osy vozidla, natáčení předních kol pro zatáčení, a nakonec ohýbání nahoru a dolů celého předního rámu (obr. 5). Dále pak střední a zadní pár kol je připojen výsuvnou a rotační vazbou k rámu, která umožňuje kolům výrazně měnit polohy ve směru výšky vozidla (obr. 6). Touto konfigurací podvozek dosahuje vyšší adaptace na překážku, kterou překonává. [1]



Obrázek 4: Podvozek s koly a klouby [1]



Obrázek 5: Přední kloub [1]



Obrázek 6: Uložení zadních kol [1]

2. Reálné vozy s vysokou průchodností

Pro průjezd náročným terénem existuje mnoho více i méně funkčních konceptů, některé jsou komerčně využívány, některé slouží jen pro vojenské účely, jiné zase pro osobní využití. Velké množství různých vozidel s upraveným podvozkem je využíváno pro lesní práce, na stavbách, nebo v horských oblastech, kde terén bývá klasickými automobily neprůjezdný. [1] [2]

2.1 Overcomer Hunta

Běloruský HUNTA Overcomer představuje třídu víceúčelových vozidel. Unikátní odpružená konstrukce, speciální pneumatiky tvaru „doughnut“ a lehká a odolná karoserie vyrobená ze sklolaminátu umožňují překonat jakékoli povrchy: sníh, písek, bláto, bažiny a dokonce i vodu. Minimální hmotnost vozidla je 2 300 kg a je schopno vyvinout maximální rychlost 70 km/h. Je určeno pro extrémní rekreaci, lov, záchranné akce a hlídkování v různých podmínkách. [5] [6]

Unikátní nízkotlaké pneumatiky a lodní šroub umístěný na zádi umožňují vozidlu pohyb ve vodě. Ve vodě je schopno dosáhnout rychlosti až 8 km/h. [5] [6]



Obrázek 7: Overcomer Hunta [7]

2.2 Ripsaw EV Series (Extreme Vehicles)

Stroj Ripsaw americké firmy Howe and Howe Technologies Inc. byl původně navržený pro armádu jako lehký, super rychlý tank. Jedná se o odolné pásové vozidlo s obří silou a skvělými manévrovacími vlastnostmi. Špičkové a luxusní řady Ripsaw EV2 a EV3 byly vyvinuty pro veřejnost a extrémní rekreaci v náročných terénech. Zakázková výroba těchto jedinečných terénních vozidel trvá až 6 měsíců a může stát více než půl milionu dolarů v závislosti na požadované výbavě a výkonu. [8] [9]

Vozidlo řady Ripsaw EV3-F4 dokáže jet maximální rychlostí až 95 km/h a je tak nejrychlejším vozem poháněným pásy na světě. Silné gumové pásy umožňují vozidlu abnormální průchodnost terénem, snadné sjíždění strmých svahů a uvolněných terénů, jako jsou bláto, písek, bažiny, sníh či led. [8] [9]



Obrázek 8: Ripsaw EV [10]

2.3 Chainlink Extreme 4x4

Toto unikátní „self-leveling“ vozidlo, bylo vytvořeno Cameronem Carlsonem. V podstatě se jedná o vylepšený Jeep, který je svými schopnostmi v průjezdu náročných terénů nepřekonatelný. Vačkový hydraulický řetězový pohon 4x4 a extrémní rozpětí hydraulicky ovládaných ramen umožňuje vozidlu jízdu jakýmkoliv terénem. Toto vozidlo umí zvednout přední pneumatiky více než 200 centimetrů směrem nahoru i dolů, zadní v rozsahu 120 centimetrů. [11]



Obrázek 9: Chainlink Extreme 4x4 [12]

3. Přístupy řešení kinematiky mechanismu

Pro sestavení kinematického modelu mechanické soustavy mnoha těles je nutné matematicky popsat vazby mezi souřadnicemi každého tělesa, které dohromady popisují celou mechanickou soustavu s určitým počtem stupňů volnosti

$$n = 6 \cdot (u - 1) - 1 \cdot (r + p) - 2 \cdot v - 3 \cdot s \quad (1)$$

kde n značí počet stupňů volnosti, u počet těles soustavy, r počet rotačních vazeb, p počet posuvných vazeb, v počet válcových vazeb a s počet vazeb sférických. Při vyřešení takového modelu získáme závislosti mezi těmito souřadnicemi, které poté odpovídají funkci právě námi popsané mechanické soustavy. [13] [14]

Souřadnice mohou mít více funkcí a hlavní rozdíl je v tom, zda je při zadání mechanické soustavy známe, nebo je právě potřebujeme dopočítat. Poté je ještě také dělíme na vstupní a výstupní a hnací a hnané. Hnací potom symbolizují pohony, např. rotační, nebo posuvný pohon. Za hnané považujeme ty, které se pohnou z důvodu udržení vazby s hnacími. [13] [14]

3.1 Přímá (dopředná) kinematika

Přímá kinematika je přístup řešení dané úlohy, kde hledáme hnané souřadnice mechanického systému. K určení koncového bodu využívá jako vstupní data dané hnací souřadnice. [13] [14]

3.2 Inverzní kinematika

Inverzní kinematická úloha má za úkol najít hnací souřadnice systému za předpokladu, že jsou známy hnané. K dosažení výsledných hnacích souřadnic je nutné použít numerické řešení, kdy se výpočet systému provádí stále dokola s tím, že s každou další iterací je výsledek přesnější. Tento postup vyžaduje velkou výpočetní kapacitu, s výkonnějším hardwarem dosahujeme výsledku rychleji. [13] [14]

3.3 Metody řešení kinematických smyček

Pro sestavení kinematického modelu mechanických soustav mnoha těles využíváme matematický popis vzájemných vazeb mezi souřadnicemi definujícími mechanickou soustavu a poté tento se tento matematický popis snažíme vyřešit. Díky tomu získáme závislosti mezi jednotlivými souřadnicemi mechanické soustavy. [13] [14]

3.3.1 Transformační matice pro maticové metody

Transformační matice popisují posuvy a natočení jednotlivých těles soustavy. Jsou to tři posuvy v osách x , y , z v kartézském souřadnicovém systému, dále pak tři rotace kolem těchto os. Posuvy pak značíme $T_x(x)$ pro kladný posuv ve směru osy x , $T_y(y)$ pro kladný posuv ve směru osy y a $T_z(z)$ pro kladný posuv ve směru osy z . Argumenty x , y a z odpovídají délce posuvu. Natočení odpovídající rotaci kolem osy x značíme $T_{\varphi_x}(\varphi_x)$, kolem osy y značíme $T_{\varphi_y}(\varphi_y)$ a kolem osy z značíme $T_{\varphi_z}(\varphi_z)$, kde argumenty φ_x , φ_y a φ_z odpovídají velikosti úhlu rotace. [13] [14]

$$\begin{aligned}
 T_x(x) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & T_y(y) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & T_z(z) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 T_{\varphi_x}(\varphi_x) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_x & -\sin \varphi_x & 0 \\ 0 & \sin \varphi_x & \cos \varphi_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & T_{\varphi_y}(\varphi_y) &= \begin{bmatrix} \cos \varphi_y & 0 & \sin \varphi_y & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \varphi_y & 0 & \cos \varphi_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 T_{\varphi_z}(\varphi_z) &= \begin{bmatrix} \cos \varphi_z & -\sin \varphi_z & 0 & 0 \\ \sin \varphi_z & \cos \varphi_z & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & & & (2)
 \end{aligned}$$

Pro popis transformace systému využijeme transformační matice popisující náš mechanismus a ve správném pořadí je vynásobíme

$$r = \sum_{i=1}^k T_{x_i}(x_i) \cdot T_{y_i}(y_i) \cdot T_{z_i}(z_i) \cdot T_{\varphi_{x_i}}(\varphi_{x_i}) \cdot T_{\varphi_{y_i}}(\varphi_{y_i}) \cdot T_{\varphi_{z_i}}(\varphi_{z_i}) \quad (3)$$

a tím získáme popis pozice radius vektoru koncového bod. [13] [14]

3.3.2 Maticová metoda uzavřené smyčky

Tato metoda přistupuje k řešení popisem kinematické transformace přes nezávislé strukturní smyčky mechanické soustavy. Uzavřená strukturní smyčka je rovna identické transformaci. Popis smyčky mechanismu těmito dvěma přístupy vytvoří celkem 12 skalárních rovnic pro jednu smyčku. [13] [14]

3.3.3 Maticová metoda řezu smyčkou

Metoda řezu smyčkou sestavuje rovnice popisující mechanický systém, kde v některé vazbě provedeme pomyslné přerušení mechanismu a nahradíme ho podmínkami, které popisují bod řezu smyčkou. Výhodou tohoto přístupu je sestavení menšího počtu rovnic. [13] [14]

3.3.4 Maticová metoda vyjmutí tělesa

Metoda vyjmutí tělesa spočívá ve vyjmutí jednoho tělesa mezi dvěma vazbami, s následným doplněním vazbové podmínky mezi těmito dvěma vazbami. Výhodou tohoto přístupu je sestavení menšího počtu rovnic. [13] [14]

3.4 Matlab & Simulink

Simulink je prostředí v rámci Matlabu pro grafické programování uzpůsobené pro modelování, simulaci a analýzu dynamických systémů. Tato platforma nabízí mnohé nástroje pro různé fyzikální systémy, jako například elektronické, hydraulické, mechanické a další. Tyto knihovny nástrojů jsou už předpřipravené a optimalizované funkce, které odpovídají fyzikálnímu chování daného problému. Dále je možné programovat a sdílet s dalšími uživateli vlastní naprogramované nástroje pro jednodušší modelování systémů s podobnou problematikou. [15]

Simulink běží v prostředí Matlabu a je s ním propojen. Je tedy možné zkombinovat grafické programování s textovým a tato kombinace vytváří velmi silný nástroj pro syntézu velké škály různých systémů. [15]

Je možné tímto způsobem řešit jak kinematiku, tak dynamiku složitých systémů bez nutnosti použití jakékoli metody nutné pro analytický výpočet takového systému. [15]

3.4.1 Simscape Multibody

Pro tvorbu prostorových mechanických systémů je přímo vytvořeno simulační prostředí Simscape Multibody, které má připravené základní funkce pro snadné modelování komplexních systémů. V knihovně tohoto doplňku jsou připravena hmotná tělesa, vazby, silové prvky, pohony a také senzory. Je také možné přímo do tohoto prostředí importovat soustavu vymodelovanou v jiném CAD softwaru a tím docílit komplexní geometrie. Dále se při importu soustavy uloží vypočítané hodnoty hmotností, momentů setrvačností, spojů a vazeb jednotlivých těles. Díky propojení s Matlabem je možné parametrizovat hodnoty modelu skrze workspace. [15]

Jelikož je Simscape Multibody knihovna v rámci Simulinku, je možné těmto mechanickým systémům vytvořit řídicí jednotku a celkovou elektroniku pro testování systému co nejbližší realitě. [15]

4. Řídicí jednotky

Řídicí jednotky jsou zařízení s mikroprocesorem, které řídí logiku chování a zpracování vstupů a výstupů systému. Jsou to počítače menších rozměrů, dělané pro ovládání nějakého systému. Důležitou vlastností těchto počítačů je cyklický běh pouze jednoho programu. Důvodem pro takto nastavený počítač je jeho rychlá odezva na vstupy z reálného světa. Díky této vlastnosti jsou vhodné pro automatizaci řízení různých systémů, nebo třeba procesních linek v reálném čase. [16] [17] [18]

4.1 PLC

PLC je zkratka pro Programmable Logic Controller, tedy programovatelný logický ovladač. Důvodem vzniku byla potřeba zmenšit a zjednodušit logický systém velkého množství relé, kterým se řídily různorodé systémy. Obvykle to bývá odolná skříňka se vstupy a výstupy (obr. 10) a to z důvodů, že je často používána v náročných industriálních prostředích. Uvnitř se nachází elektronická deska s procesorem a dalšími elektrickými komponenty, které dohromady dávají jednoduchý počítač. [17]



Obrázek 10: Siemens PLC [19]

Tato platforma je široce využívána v průmyslu a je velmi spolehlivá, protože je určena k řízení autonomních systémů, kde by následkem špatného chodu systému mohlo dojít k velkým škodám. Cena těchto počítačů se často pohybuje v řádu tisíců až desetitisíců korun. [17]

4.2 Arduino

Arduino vzniklo v roce 2005 v Itálii za účelem levné a jednoduché alternativy pro vytváření řídicích jednotek pro studentské projekty. Desek Arduina existuje několik druhů, například Arduino Nano, Micro, Uno (obr. 11), Mega 2560 a další. Tyto verze se liší velikostí, počtem vstupů a výstupů a nakonec výkonem. Nabízí tedy velké množství aplikací do nejrůznějších projektů. Arduino má jako hlavní výpočetní komponentu 8 - 32 bitový procesor. Dále pak mnoho vstupů a výstupů uzpůsobených na standardizovaný konektor. Pro rozšíření možností Arduina je tedy snadné připojit nejrůznější hardwarové komponenty. Arduino pro fungování potřebuje zdroj napájení s napětím 5 V a lze jej tedy napájet přes USB i například z počítače. [18]



Obrázek 11: Arduino UNO [18]

Kvalita zpracování odpovídá nízké ceně, ale pro studentský projekt postačí a nabízí širokou škálu levných doplňků jako například různé senzory, přijímače, ovladače, a jiné. Navíc je Arduino relativně malé a je tedy vhodné pro jednoduché uschování nebo přenos. [18]

Arduino je otevřený projekt, a proto vzniká mnoho napodobenin, které jsou ještě levnější než originál a nabízejí stejné možnosti. Navíc všechny napodobeniny Arudina jsou vyrobené tak, aby byly kompatibilní se softwarem pro psaní a nahrávání programů do samotného Arduina. Samotné Arduino je dokonce možné poskládat doma z běžně dostupných elektronických součástí. [18]

4.3 Raspberry Pi

Z této trojice nejmladší platforma, vyvinuta v roce 2012. Oproti Arduino má výkonnější hardware na které běží operační systém Linux. Existují různé verze, Raspberry Pi, Raspberry Pi 2 (obr. 12), Raspberry Pi Zero, Raspberry Pi 3 a nakonec Raspberry Pi 4. Kompatibilita je tedy výrazně lepší a je vhodné využít toto zařízení téměř kdekoli, kde je potřeba malého kompaktního počítače. Má velmi malé rozměry stejně jako Arduino. Výkonem toto zařízení odpovídá až výkonu slabšího stolního počítače. Navíc má přímo uzpůsobené vstupy pro monitor a klávesnici. [20]



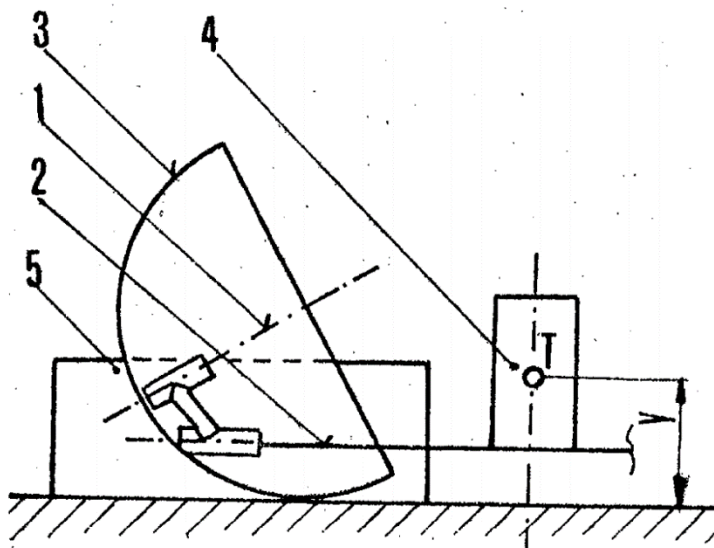
Obrázek 12: Raspberry Pi 2 [21]

5. Popis mechanismu v patentu

Patent 206618 se týká zavěšení kola, díky kterému se zvýší průjezdnost u podvozků s tímto zavěšením. Dále také pojednává o způsobu pohonu takového kola, jelikož je tento mechanismus komplexnější a není jednoduché přivést točivý moment na kolo konvenčním způsobem. Výhodou takového mechanismu může být plynulejší přejezd překážek a možnost přejetí překážky větší, než je poloměr kola. Možným cílem tohoto patentu je například aplikace tohoto podvozku u invalidních vozíků, jelikož tento mechanismus má za cíl překonávat třeba i překážky typu schod a zároveň zachovat menší průměr kol. [22]

5.1 Mechanismus zavěšení kola

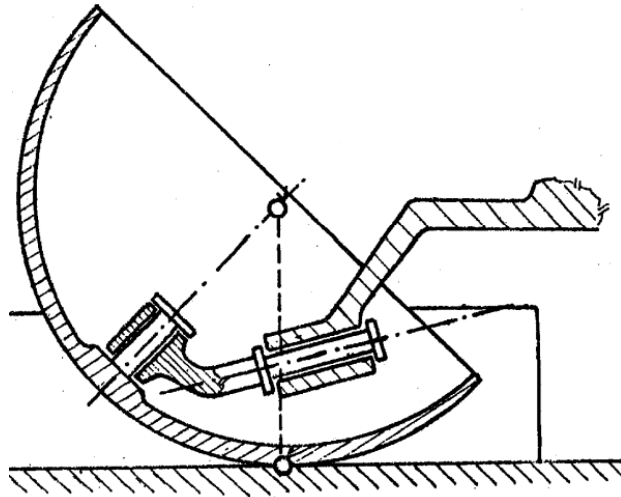
Mechanismus závěsu obsahuje na rozdíl od klasické konfigurace u dopravního automobilu jednu osu rotace navíc. Tato osa je umístěna mimo hlavní osu rotace a svírá s ní určitý úhel. Díky této další ose je navíc každé kolo schopné vytočit se dopředu či dozadu. Na obrázku 13 se nachází kolo označené pozicí 3, dále primární osa na pozici 1 a sekundární osa na pozici 2. [22]



Obrázek 13: Závěšení kola [22]

5.2 Kolo

Kolo (Obr. 14) má tvar duté polokoule, a to z důvodu stálého kontaktu s vozovkou i v případě, že se kolo natočí okolo sekundární osy. Kulový tvar zde zajišťuje normálu kontaktního místa stále kolmou k vozovce. [22]



Obrázek 14: Příčný řez kola [22]

5.3 Pohon

Na každé kolo je nutné přivádět točivý moment, a to na primární osu mechanismu kola. Jelikož je primární osa připojena na rám přes další členy a je vůči rámu pohyblivá, není možné motory připojit přímo na rám, musí být součástí každého kola. Tato podmínka značně komplikuje a omezuje konstrukci takového vozidla.

5.4 Primární osa

Primární osa znázorňuje rotační osu kola a také osu, na které je umístěn pohon vozidla. Tato osa není spojena s rámem přímo z důvodu natočení kola kolem sekundární osy. [22]

5.5 Sekundární osa

Sekundární osa umožňuje kolu natočit se dopředu nebo dozadu a tím změnit vzdálenost přední a zadní nápravy a částečně změnit vertikální pozici kola, tedy úplně změnit geometrii podvozku. Tato osa je spojena s primární osou pevným prvkem a dále je připojena k rámu. [22]

Takové uspořádání vozidlu umožňuje, za určité konfigurace, zvětšit vzdálenost předních a zadních náprav. Zvětšená vzdálenost obou náprav v kombinaci s natočením kol má kladný vliv na trajektorii těžiště vozidla při přejezdu přes překážku.

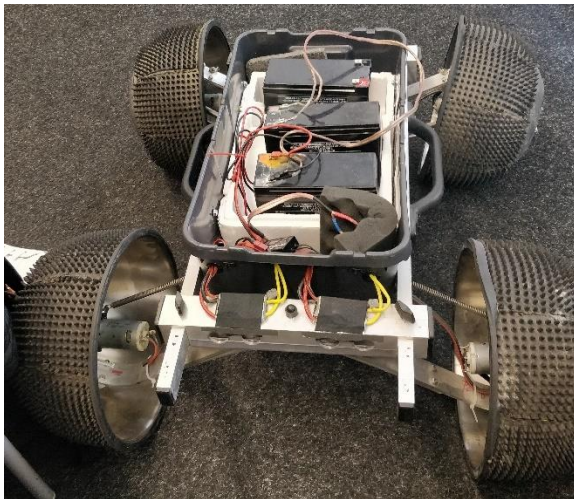
Pro využití tohoto mechanismu je nutné, aby kola přední nápravy byla schopna natočit se dopředu a kola zadní nápravy dozadu.

6. Tvorba modelu

Pro analýzu tohoto mechanismu jsem vytvořil vlastní model, který je inspirován hotovým modelem, na kterém ale testování dost dobře možné není z důvodů vychozených spojů, velmi nepřesné stavby mechanismů zavěšení kol a motorů s příliš vysokými otáčkami.

6.1 Původní model

Tento původní model (obr. 15) má primární osu v horizontální poloze. Kola jsou uchycena na pružiny, aby při výkyvu ze základní polohy byla přitahována zpátky k podvozku (obr. 16). Řešení pružin pro vracení kol tohoto modelu je provedené jen tak, aby se kola nějak vracela a díky vůlím ve spojích se chová jako s více stupni volnosti, než kolik bylo zamýšleno původním návrhem. Sekundární osa má na jedné straně kolík pro zamezení rotace v nežádaném smyslu. Odpružení, resp. vyrovnávání podvozku při změně výšky jednoho či více z kol je řešeno kyvnou přední nápravou a pevnou (nehybnou) zadní nápravou.



Obrázek 15: Původní model



Obrázek 16: Zavěšení kola původního modelu

6.2 Koncepty řešení vertikálního vyrovnání kol

Celý podvozek se skládá ze čtyř kol, dvou předních a dvou zadních. V kombinaci s vyklápěním kol je nutné, aby všechna kola byla vůči sobě pohyblivá ve vertikálním směru. Při přejezdu překážky by jinak některá byla nadzvednuta a nemohl by z nich být převáděn točivý moment na povrch, po kterém jedou, zde je tento mechanismus řešen kyvnou nápravou předních kol.

Nabízí se několik možností, jak si s tímto problémem poradit. Jednou z nich je právě použití jedné z náprav kyvné, jak je demonstrováno u tohoto původního modelu. Tato konfigurace nabízí pasivní jízdu bez nutnosti řídicí jednotky. Nevýhodou takové verze podvozku je, že v případě špatně překonatelné překážky není možné nijak zlepšit vlastnosti vozidla a tím je tato konfigurace značně omezující. Navíc při přejezdu překážky koly zadní nápravy je celé vozidlo výrazně natočeno.

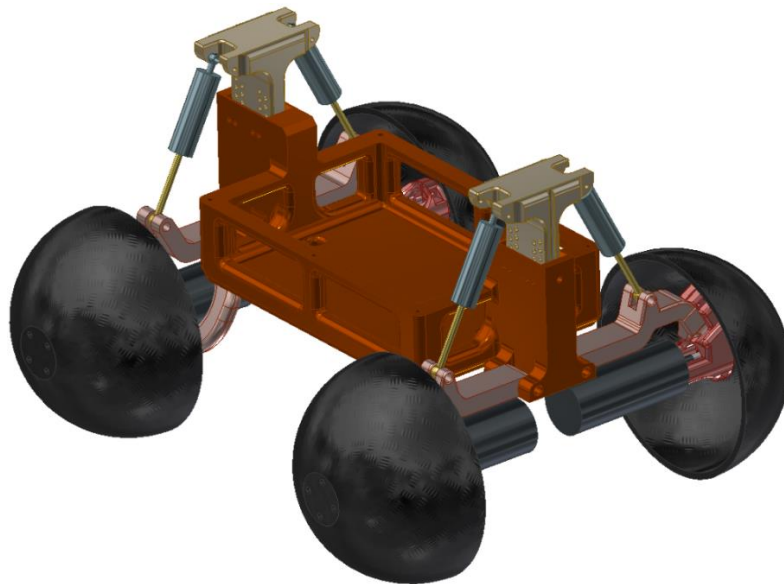
Jako další možnost se nabízí nastavitelný pružný prvek na každém kole. Konfigurace tohoto rázu má výhodu aktivní kontroly nad chováním vozidla. Obnáší ovšem složitější mechanismus a aktivní řídicí jednotku vozidla.

Nejkomplexnější konfigurací se pak nabízí nastavitelný pružný prvek s aktivně řízenými pružinami pro vracení kol a tím změna přitažné síly každého kola při překonávání překážek s možností uzamknutí mechanismu v případě jízdy po rovném povrchu. Tato konfigurace nabízí neoptimálnější přejezd překážek a současně vlastnosti vozidla podobné konvenčnímu vozu. Velkou nevýhodou je nutnost aktivního řízení celého systému s vysokou úrovní automatizace.

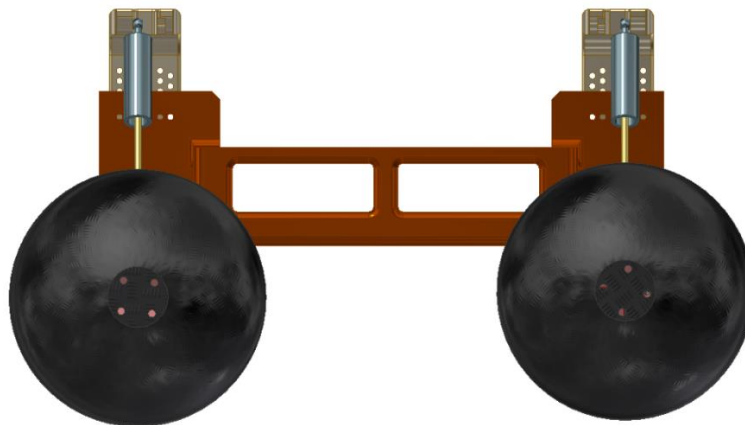
Konfigurace kyvné přední a pevné zadní nápravy se mi nejevila příliš vhodná pro plynulý pohyb podvozku, rozhodl jsem se proto každému kolu přidat pružný prvek pro lepší chování modelu.

6.3 Součásti modelu

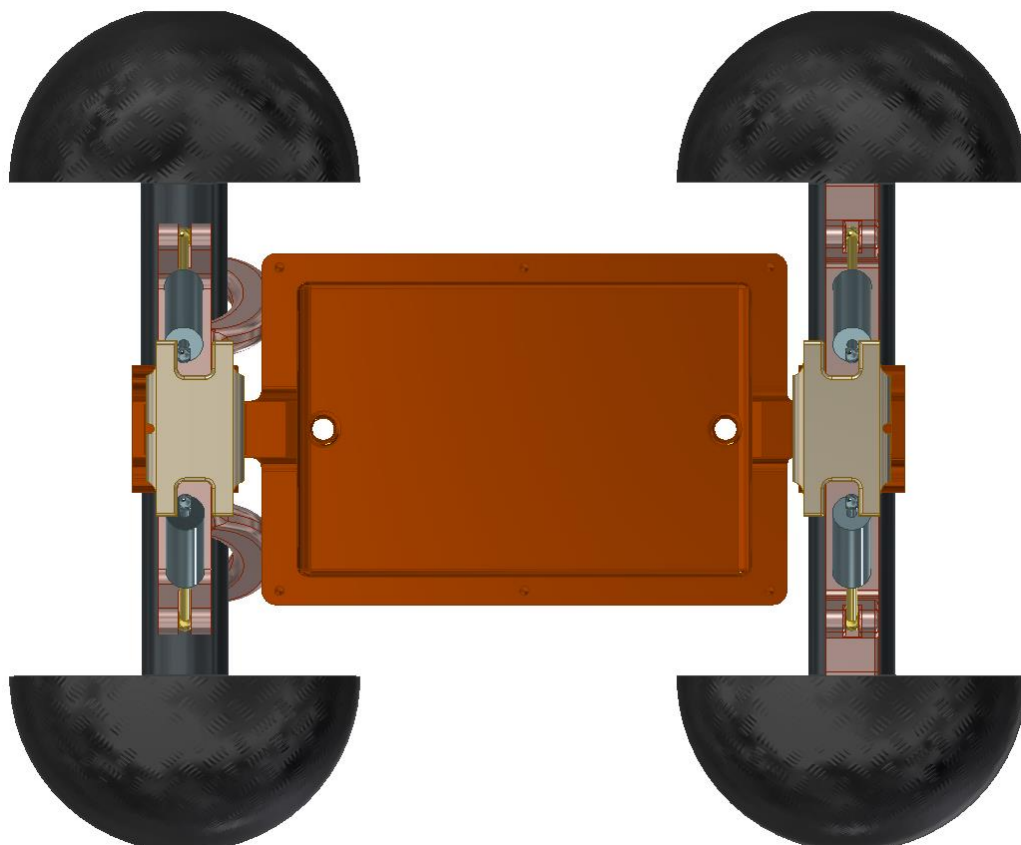
Všechny hlavní části pro konstrukci celého modelu (obr. 17, obr. 18, obr. 19, obr. 20) jsem modeloval v CAD programu Autodesk Inventor. Celková délka modelu je 290 milimetrů, šířka 240 milimetrů a výška přibližně 160 milimetrů (tato hodnota je závislá na pozici podpor odpružení, které jsou nastavitelné z důvodu změny geometrie vozidla).



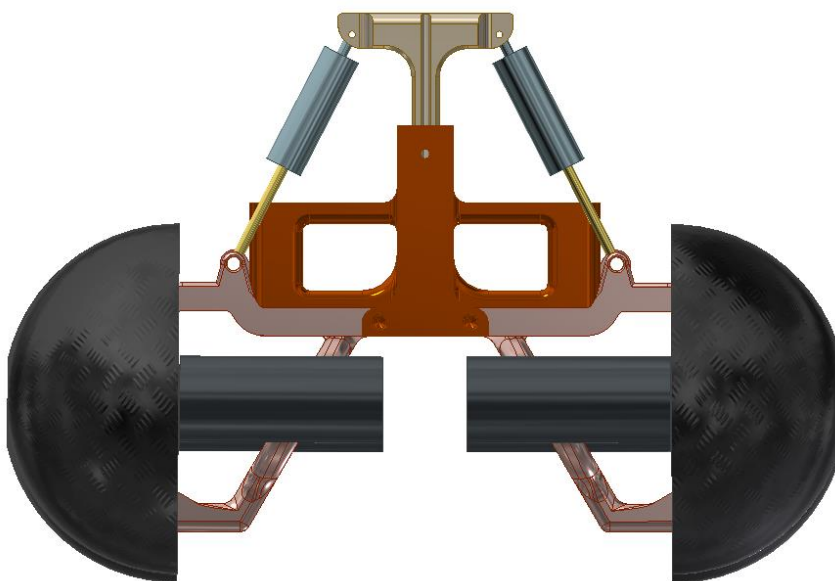
Obrázek 17: Model vozidla - prostorový pohled



Obrázek 18: Model vozidla - pohled z boku



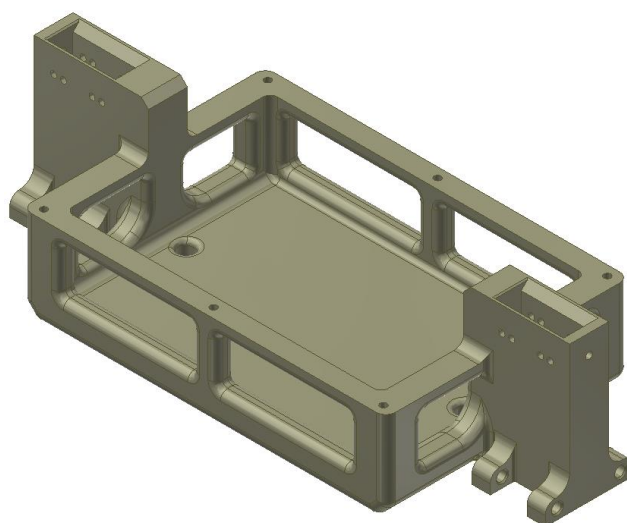
Obrázek 19: Model vozidla - pohled shora



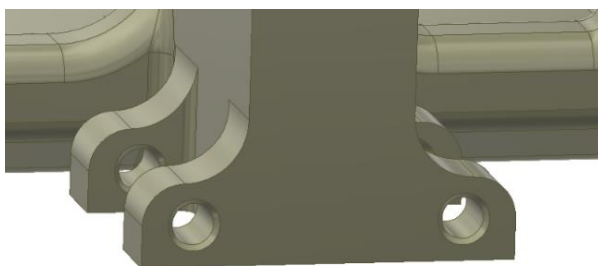
Obrázek 20: Model vozidla - pohled zepředu

6.3.1 Rám vozidla

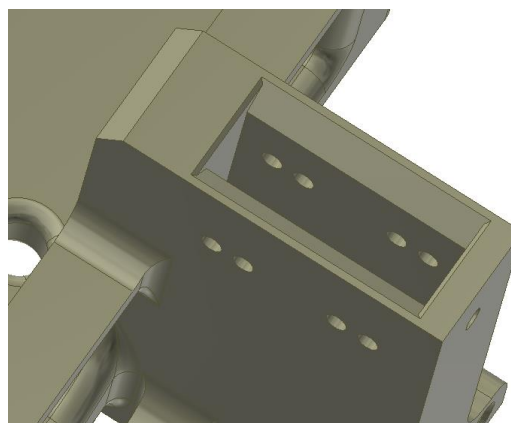
Tato součást je největší a spojuje celý model. Na obrázku 21 je prostorový pohled. Na součásti se nachází otvory pro připojení tyčí pro všechna kola (obr. 22) skrze rotační vazbu, dále otvory (obr. 23) pro vsunutí podpor odpružení s nastavitelnou výškou, a nakonec úložný prostor uprostřed pro baterie a elektroniku nutnou k ovládání tohoto modelu.



Obrázek 21: Rám vozidla - prostorový pohled



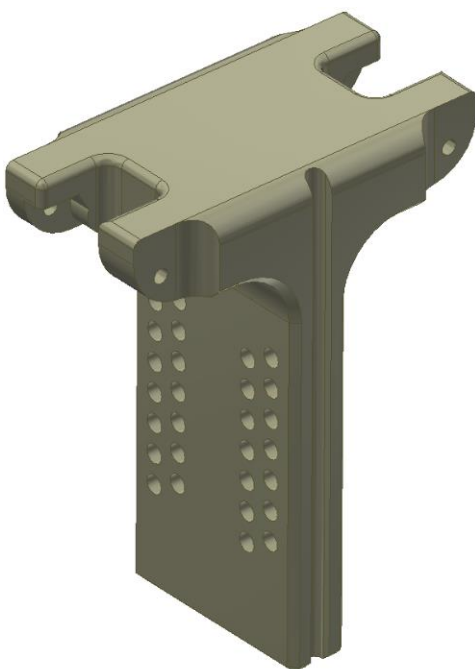
Obrázek 22: Rám vozidla - díry pro kola



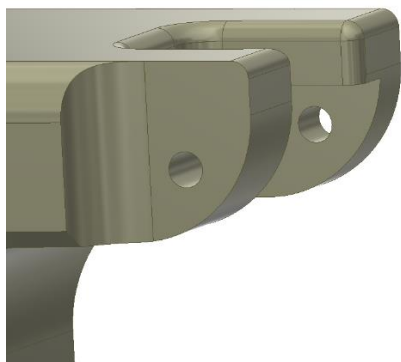
Obrázek 23: Rám vozidla - díra pro podporu odpružení

6.3.2 Podpora odpružení

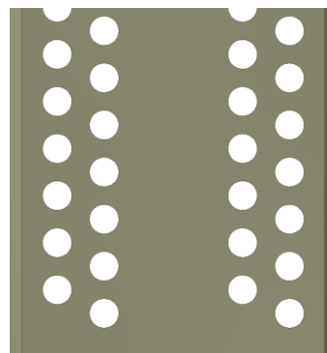
Účelem těchto podpor (obr. 24) je nastavitelná geometrie celého vozu, na modelu se vyskytují dvě, jedna vepředu a druhá vzadu. Na každé straně této součásti se k těmto podporám připojuje odpružení skrze rotační vazbu (obr. 25). Díky díram na této součásti (obr. 26) je možné dle potřeby měnit výšku této součásti vůči rámu vozidla. Snížení nebo zvýšení způsobí větší nebo menší přitlačnou sílu na nápravy kol a změnu geometrie všech kol.



Obrázek 24: Podpora odpružení



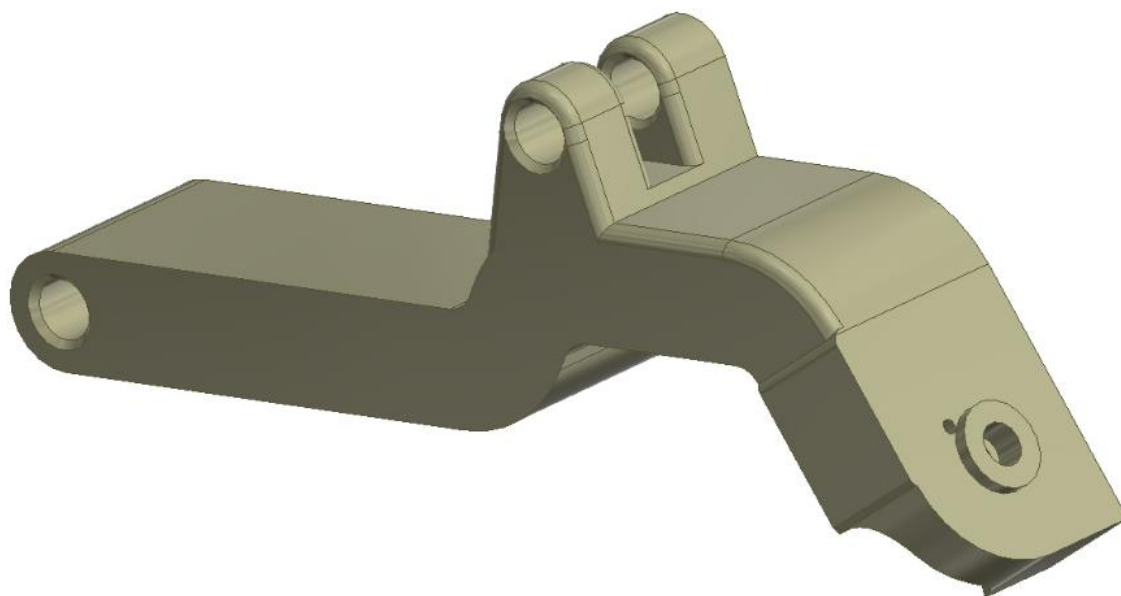
Obrázek 25: Podpora odpružení - díry pro připojení odpružení



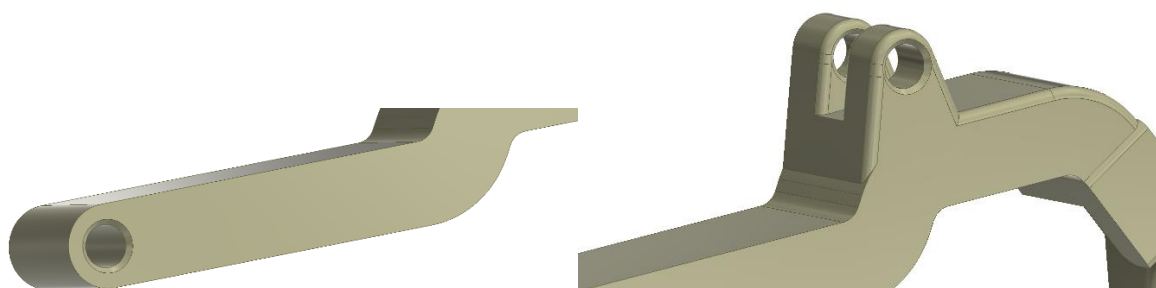
Obrázek 26: Podpora odpružení - díry pro nastavitelnost výšky vůči rámu vozidla

6.3.3 Přední nápravová tyč

Nápravová tyč (obr. 27) je spojena s rámem vozidla rotační vazbou na jednom konci (obr. 28), dále je napojena další rotační vazbou na odpružení (obr. 29) a nakonec poslední rotační vazbou k přední spojovací součásti (obr. 30), tato poslední rotační vazba je právě sekundární osou z popisu v patentu. Obě přední nápravové tyče (pravá a levá) mají stejné rozměry, jsou ale zrcadlené.



Obrázek 27: Přední nápravová tyč



Obrázek 28: Přední nápravová tyč - díra pro spojení s rámem vozidla

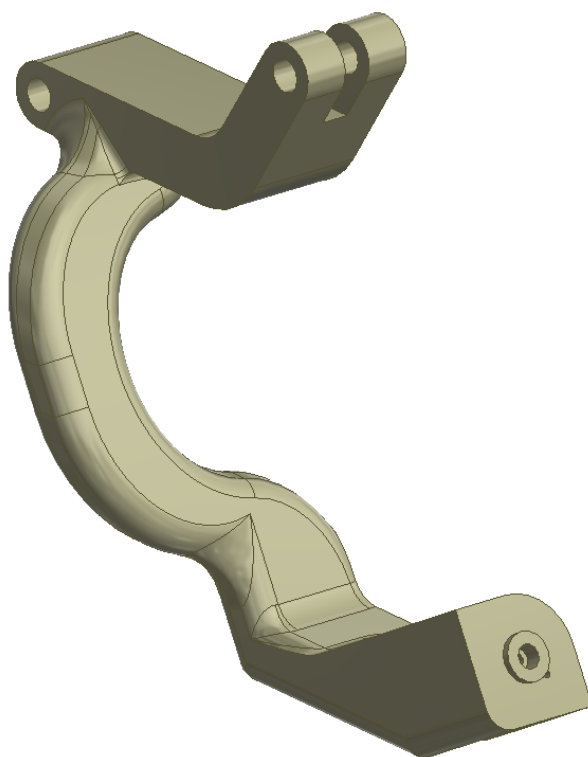
Obrázek 29: Přední nápravová tyč - díra pro připojení odpružení



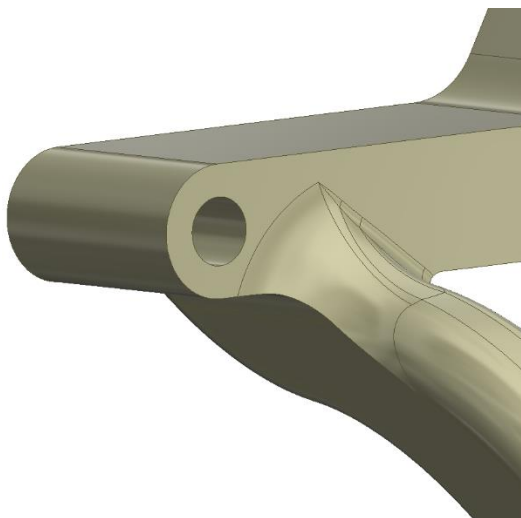
Obrázek 30: Přední nápravová tyč - díra pro spojení s přední spojovací součástí

6.3.4 Zadní nápravová tyč

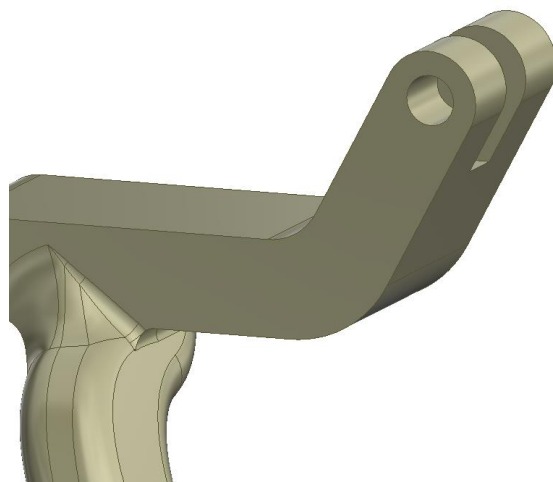
Obdobně jako u přední nápravové tyče je zadní nápravová tyč (obr. 31) spojena s rámem vozu rotační vazbou na jednom konci (obr. 32), další rotační vazbou s odpružením (obr. 33) a nakonec poslední rotační vazbou se zadní spojovací součástí (obr. 34).



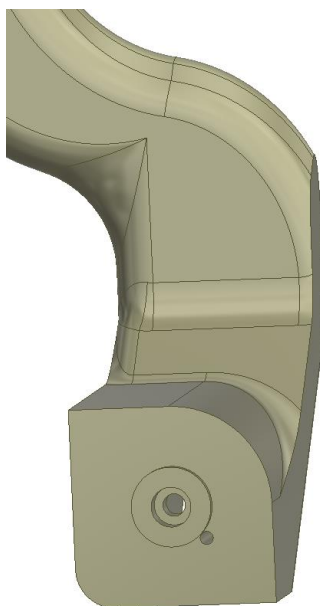
Obrázek 31: Zadní nápravová tyč



Obrázek 32: Zadní nápravová tyč - díra pro spojení s rámem vozidla



Obrázek 33: Zadní nápravová tyč - díra pro připojení odpružení

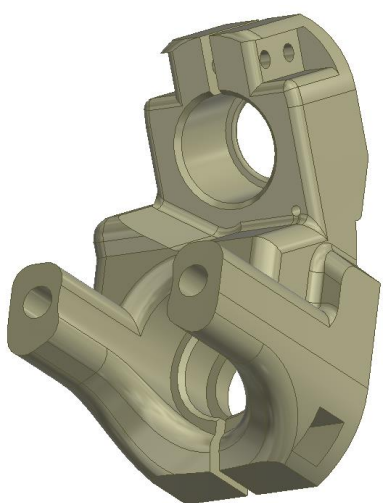


Obrázek 34: Zadní nápravová tyč - díra pro připojení zadní spojovací součásti

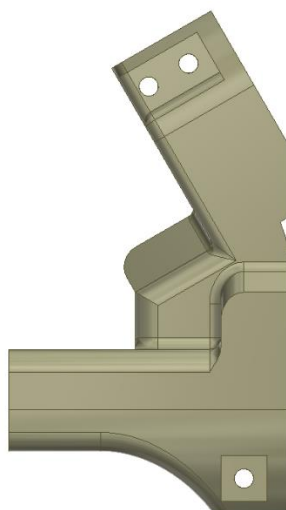
6.3.5 Přední spojovací součást

Spojovací součást definuje vzájemnou pozici primární a sekundární osy, v mém případě je to 30 stupňů, kdy sekundární osa je nad primární osou a primární osa pak je rovnoběžná se zemí. Díky této konfiguraci jsou přední kola vytočena dopředu vůči vozidlu, a to při jeho zastavení, nebo při přívodu příliš velkého točivého momentu na přední nápravu.

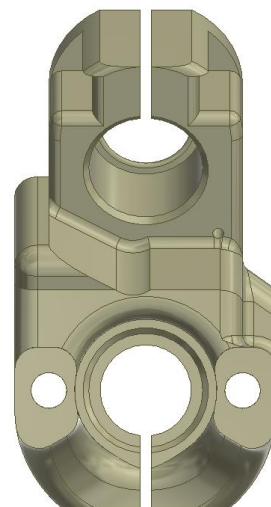
Tato součást (obr. 35, obr. 36, obr. 37) spojuje jednou rotační vazbou (obr. 38) přední nápravovou tyč, další rotačně posuvnou vazbou (obr. 39) hřídel vedoucí od motoru ke kolu. Dva otvory slouží pro pevné připojení elektromotoru (obr. 40).



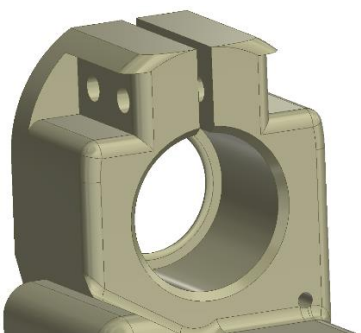
Obrázek 35: Přední spojovací součást
- prostorový pohled



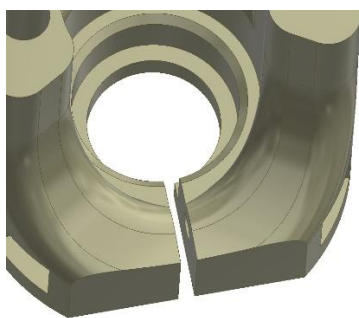
Obrázek 36: Přední spojovací součást
- pohled z boku



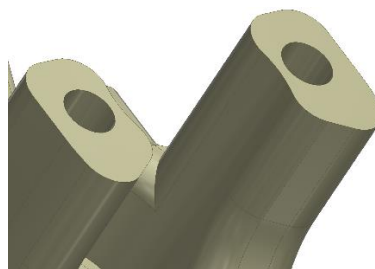
Obrázek 37: Přední spojovací součást
- pohled zepředu



Obrázek 38: Přední spojovací součást
- díra pro spojení s přední nápravovou tyčí

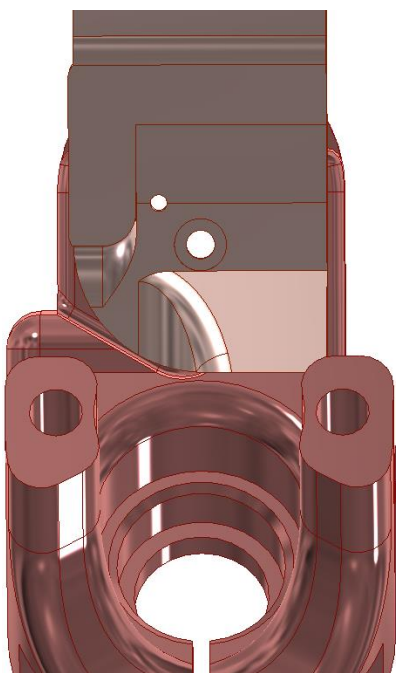


Obrázek 39: Přední spojovací součást
- díra pro spojení s kolem vozidla

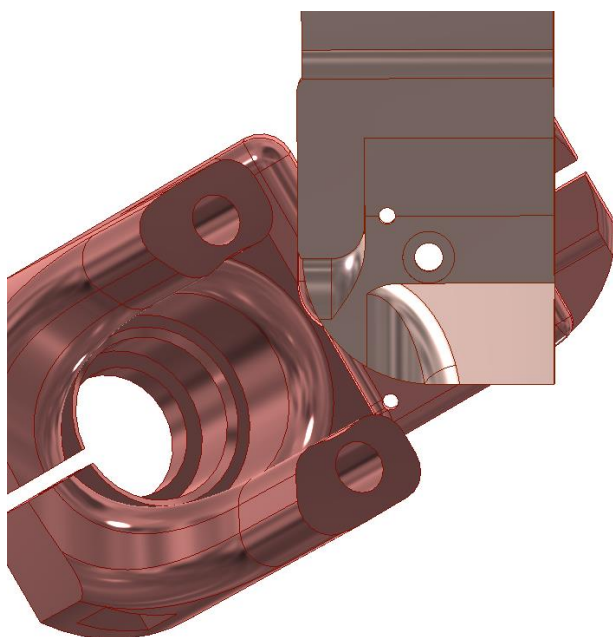


Obrázek 40: Přední spojovací součást
- díry k připevnění motoru

Spojovací součást je navržena tak, aby umožňovala rotaci kolem nápravové tyče jen o 60 stupňů (obr. 41, obr. 42) a to jen na jednu stranu, v případě přední nápravy potom dopředu vůči zbytku vozidla. Plochy na přední nápravové tyči v kombinaci s plochami na přední spojovací součásti takto definují rozsah pohybu rotační vazby, kterou jsou spojovány.



*Obrázek 41: Přední spojovací součást
- natočení vůči přední nápravové tyči 0°*

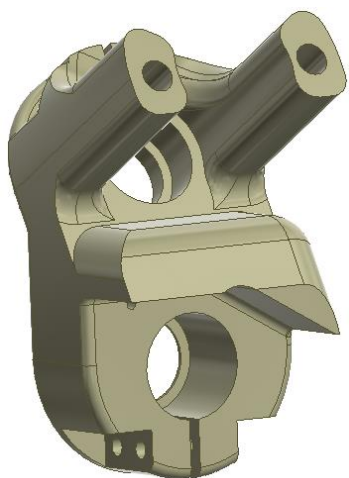


*Obrázek 42: Přední spojovací součást - natočení
vůči přední nápravové tyči 60°*

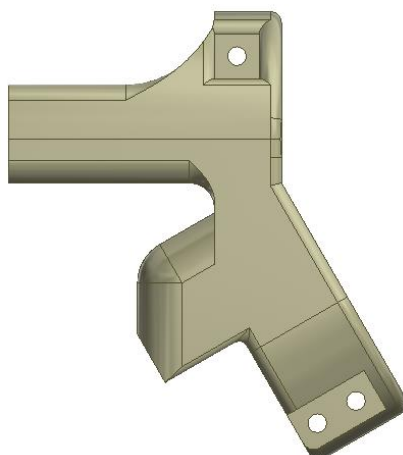
Mezi nápravovými tyčemi a spojovacími součástmi je vždy umístěna torzní pružina, která je předepnuta v opačném smyslu rotace, než ve které se kolo má vytáčet a zajišťuje tak základní pozici kola. Při výkyvu kola ze základní pozice ho zase vrací zpátky.

6.3.6 Zadní spojovací součást

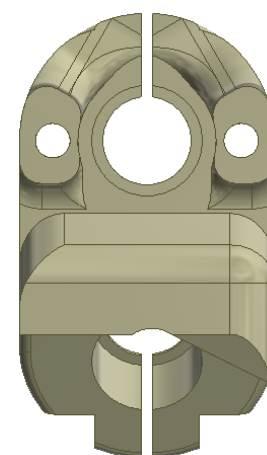
Zadní spojovací součást (obr. 43, obr. 44, obr. 45) má totožnou funkci jako přední spojovací součást, je ale geometricky odlišná. Primární osa je také rovnoběžná s povrchem, po kterém se vozidlo pohybuje, je ale tentokrát výš než sekundární osa. Osy také svírají úhel 30 stupňů a meze pro natočení jsou také 0 až 60 stupňů v tomto případě ale ve směru dozadu, to znamená také ve směru od vozidla. Takováto konfigurace způsobuje vytočení zadních kol při nárazu a zastavení vozidla, nebo při příliš velkém točivém momentu přiváděném na zadní nápravu.



Obrázek 43: Zadní spojovací součást
- prostorový pohled



Obrázek 44: Zadní spojovací součást
- pohled z boku



Obrázek 45: Zadní spojovací součást
- pohled zepředu

6.3.7 Kolo

Kola mají tvar duté polokoule (obr. 46) s průměrem 100 milimetrů. Tento tvar mají z důvodu dobrého kontaktu s povrchem, po kterém jedou při natočení kolem sekundární osy.



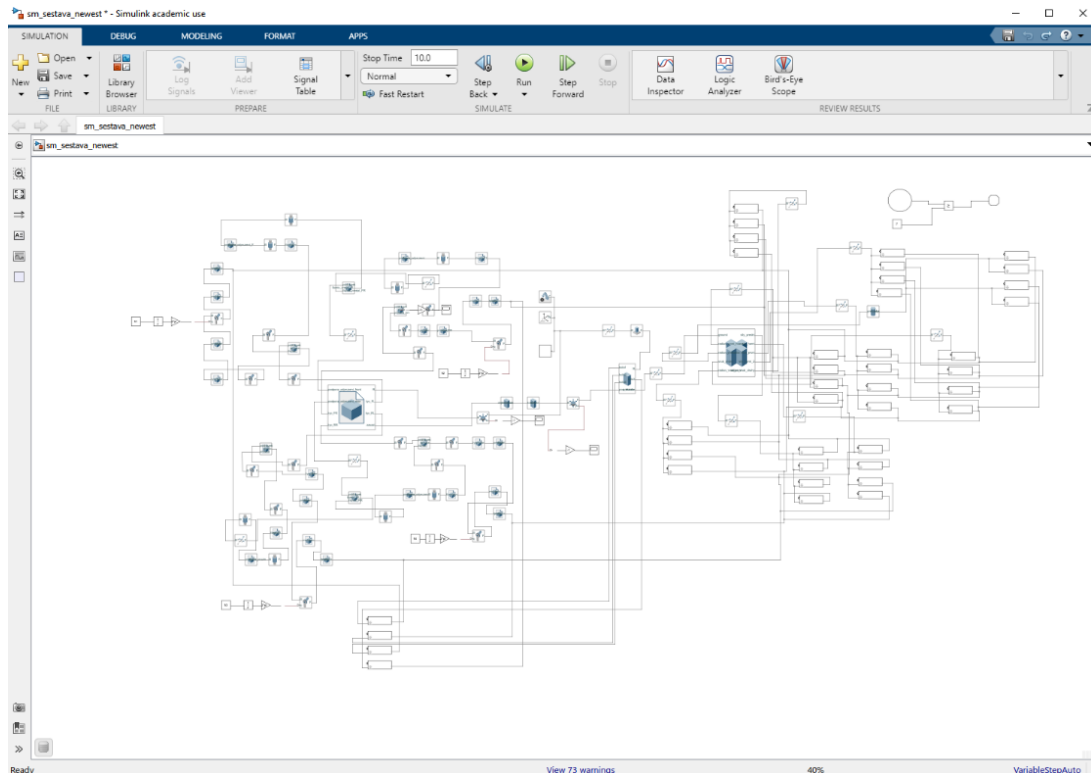
Obrázek 46: Kolo tvaru duté polokoule

6.4 Model v prostředí Matlab a Simulink

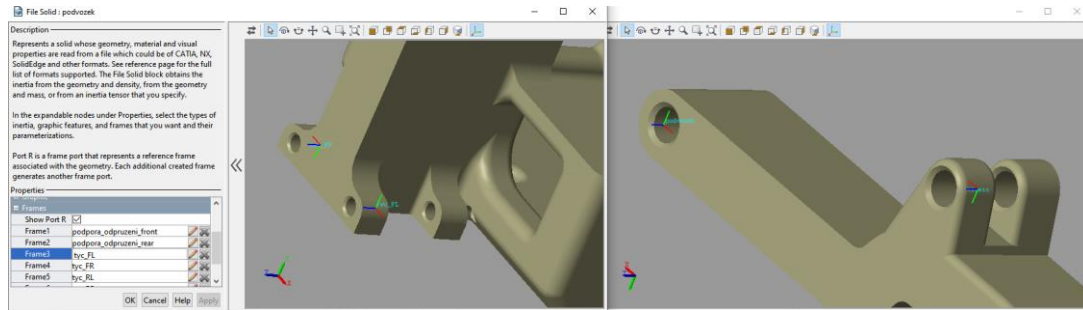
Pro řešení kinematické úlohy pro tento komplikovaný mechanismus jsem zvolil cestu vymodelování tohoto systému v prostředí Simulink (obr. 47), protože výpočet tohoto systému mnoha těles maticovou metodou by sám o sobě dal na jednu diplomovou práci a ve spojení s potřebou řešení kontaktní úlohy by byl nerealizovatelný.

Pro import soustavy do prostředí Simulink z programu Autodesk Inventor existuje doplňkový modul pro Matlab a pro Inventor. Využitím tohoto modulu jsem v Inventoru vytvořil soustavu všech důležitých těles pro sestavení celého mechanismu a importoval je, nespojené do konečného mechanismu, do prostředí Simulink.

V samotném prostředí Simulinku jsem pak přes tvorbu pomocných lokálních souřadnicových systémů na každé součásti (obr. 48) a transformací těles celý systém správně spojil. Mezi každým dílem jsem ošetřil vazbu, aby fungovala tak, jak byl celý mechanismus z počátku navrhovaný.



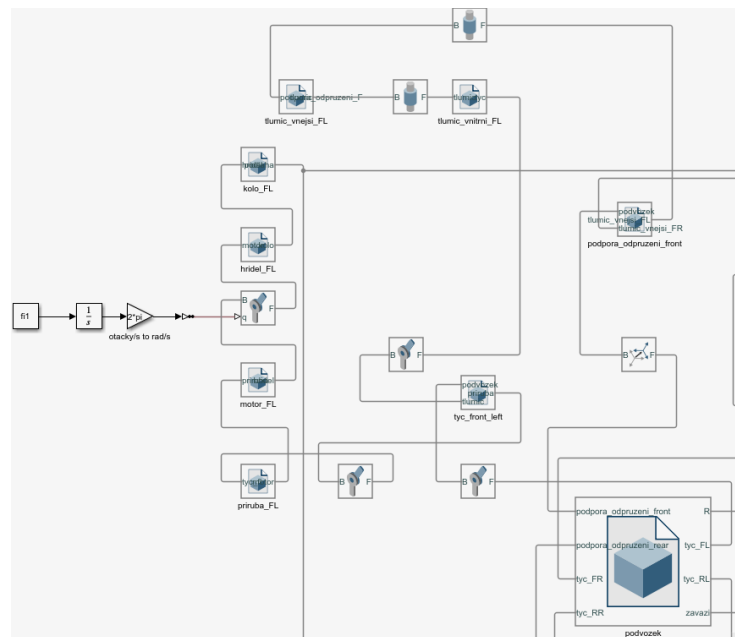
Obrázek 47: Celý systém graficky programovaný v prostředí Simulink



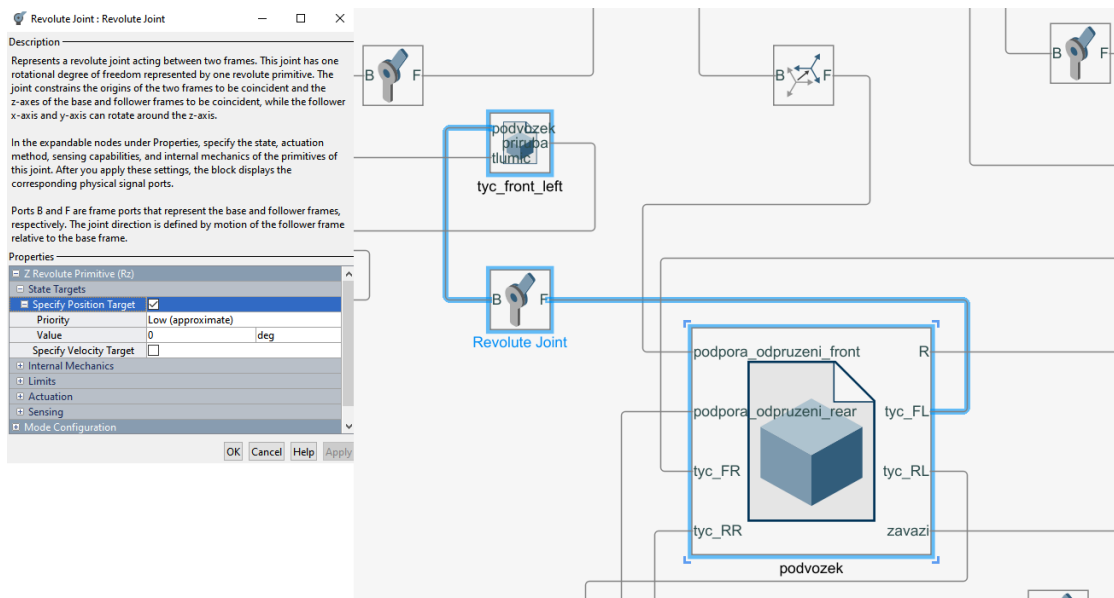
Obrázek 48: Spojení součásti přes lokální souřadné systémy

6.4.1 Zavěšení kola

Na obrázku 49 je příklad sestaveného modelu zavěšení levého předního kola k rámu vozidla. Nápravová tyč je přes rotační vazbu připojena k rámu vozidla, u které je nastavena počáteční poloha (obr. 50) pro správnou pozici součásti.

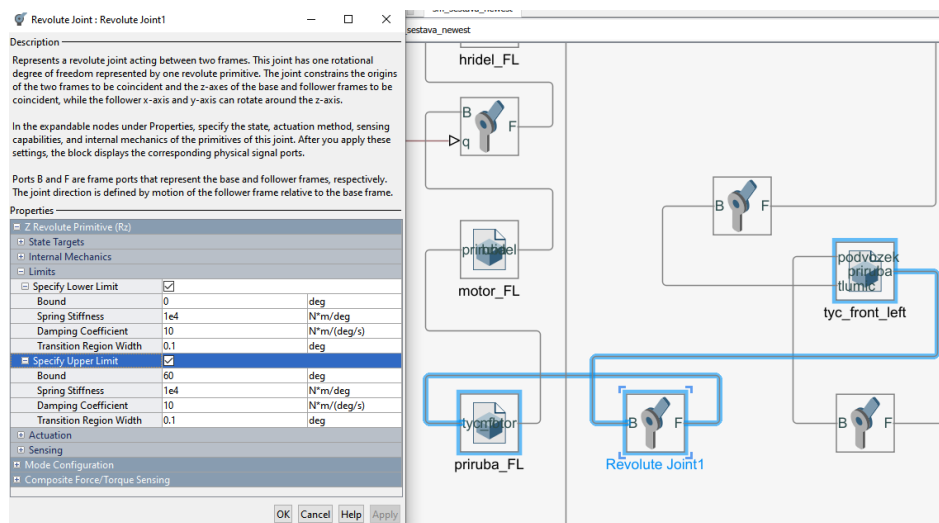


Obrázek 49: Zavěšení levého předního kola



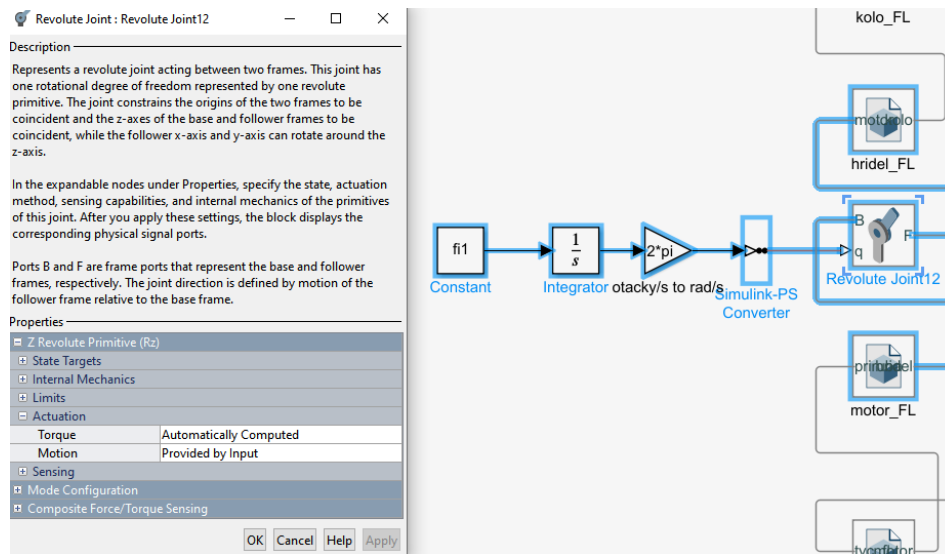
Obrázek 50: Spojení tyče a rámu vozidla rotační vazbou

Spojovací součást je připojena k nápravové tyči přes další rotační vazbu, kde jsou limity natočení nastaveny pro správný rozsah do správného směru (obr. 51). Dále jsou pak u této rotační vazby nastaveny parametry tuhosti, tlumení pružiny a rovnovážná pozice torzní pružiny. Ke spojovací součásti je pevně připojený model motoru.



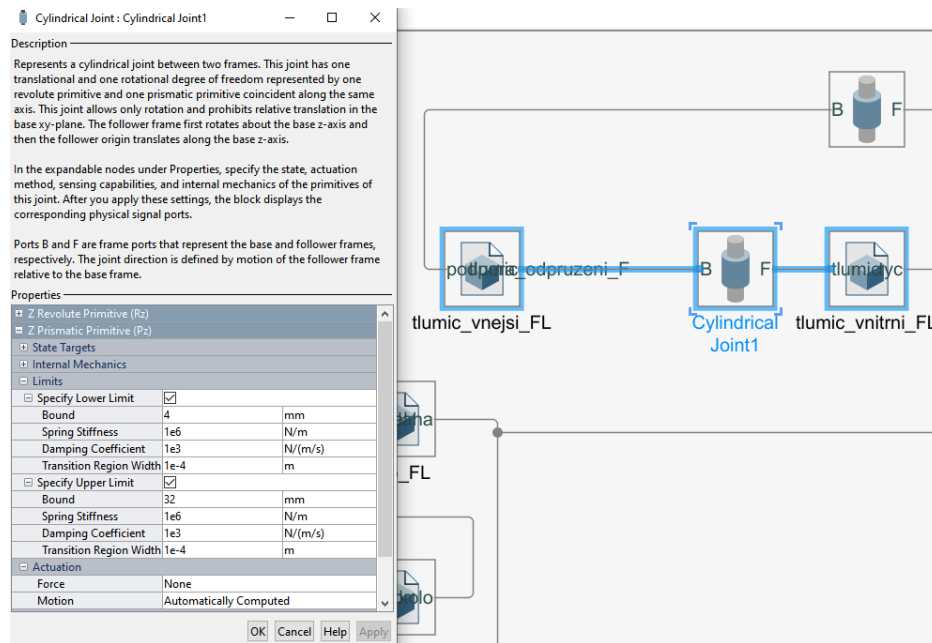
Obrázek 51: Spojení tyče a spojovací součásti s limity rotační vazby

Motor v modelu je jen hmotná nehybná součást. K motoru je připojena spojovací hřídel, která je připojena pomocí rotační vazby. Skrze tuto rotační vazbu je na hřídel přiváděn pohon v podobě konstantních otáček (obr. 52). Hřídel je pevně připojena ke kolu a díky tomu se kolo také točí při přivedení otáček na tuto hřídel.

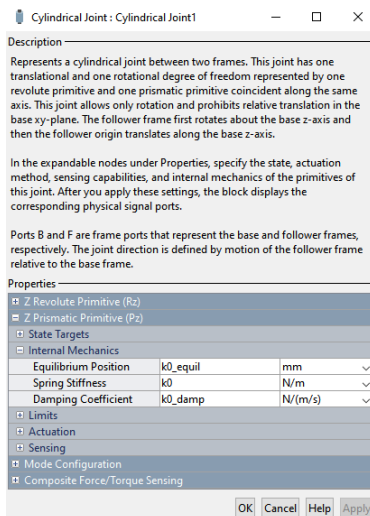


Obrázek 52: Pohon rotační vazby přes otáčky

Dva díly odpružení jsou spojeny válcovou vazbou a mají nastavené limity posuvu pro rozsah pohybu přibližně odpovídajícímu reálné součásti (obr. 53). Tato válcová vazba má nastavený jak koeficient tuhosti, tak koeficient tlumení a rovnovážnou pozici pro posuv, aby se přiblížila chováním opravdovým pružinám (obr. 54), toto nastavení jsem zvolil na bázi vizuálního zkoumání modelu v prostředí Simulink. K nápravové tyči a rámu vozidla jsou pak pružiny připojeny přes rotační vazby.



Obrázek 53: Limity odpružení

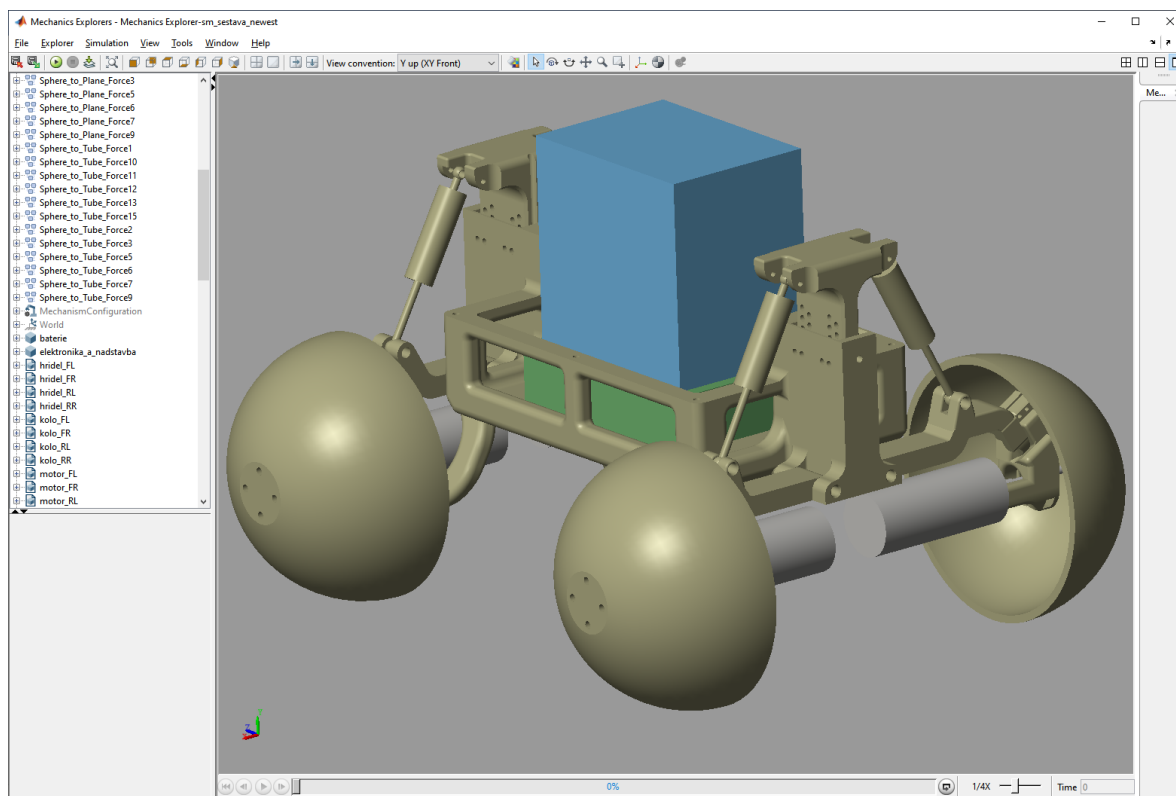


Obrázek 54: Nastavení odpružení

Všechna čtyři kola jsou zavěšena stejným způsobem jen vždy se směry pohybu vazeb pro správné chování. Za předpokladu, že je pohon dostatečně dimenzován, je pomocí konstantních otáček přiváděn na všechna kola.

6.4.2 Modelování reálné zátěže

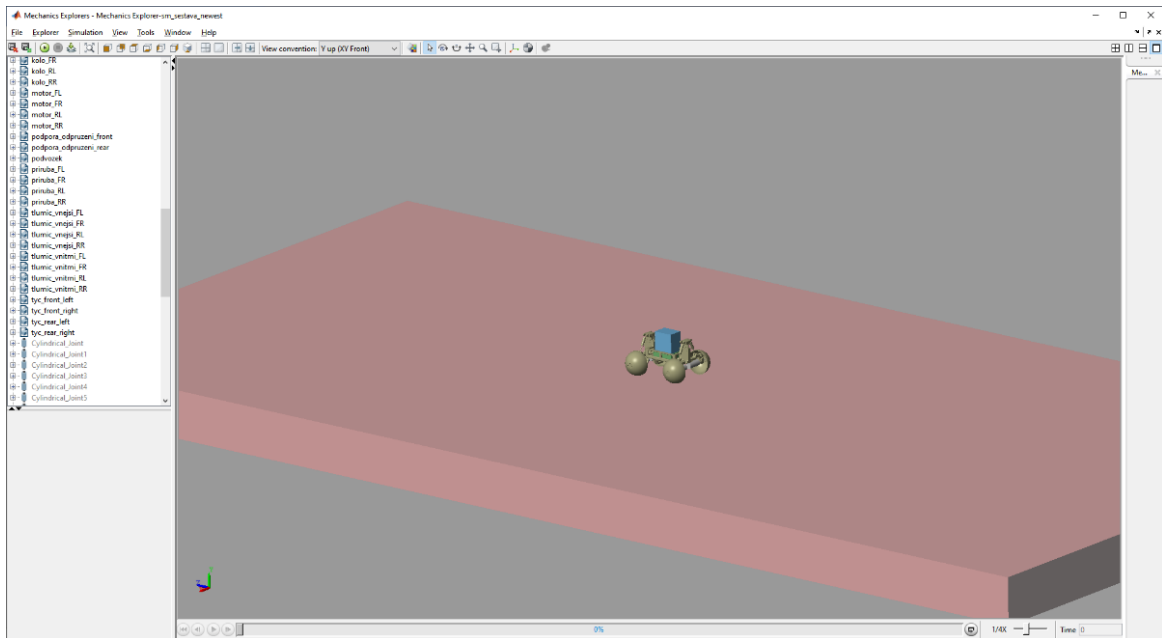
Pro imitaci baterií a elektroniky, bez kterých by vozidlo mělo rozdílné dynamické vlastnosti, jsem vytvořil dvě tělesa tvaru kvádrů s parametry přibližně odpovídající realitě (obr. 55).



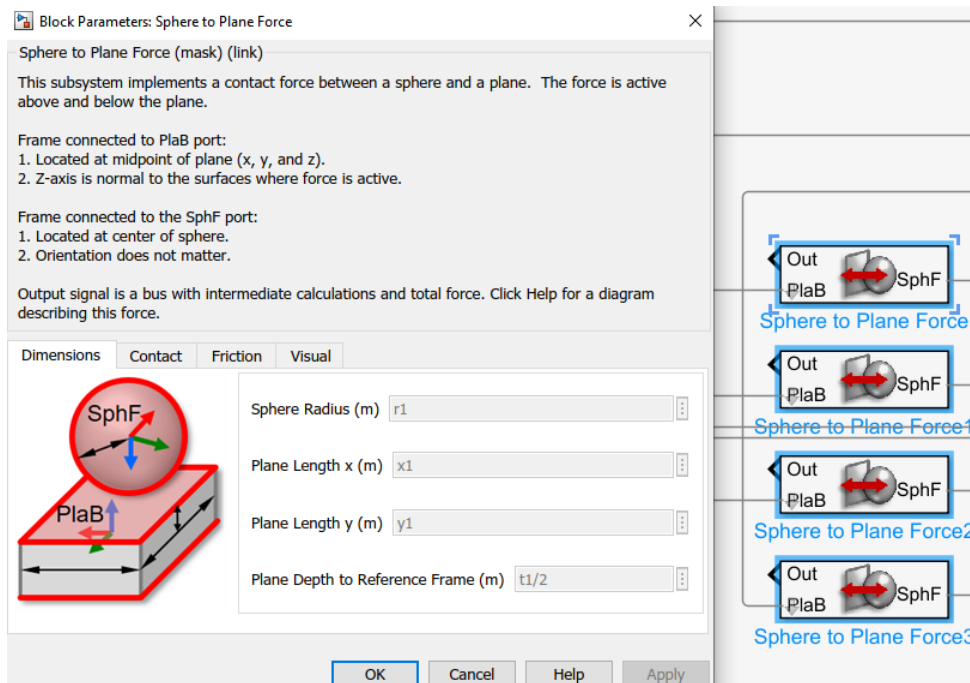
Obrázek 55: Model vozidla v prostředí Simscape: Mechanics Explorer

6.4.3 Modelování podložky

Ve chvíli, kdy byl model spojený a fungoval, přidal jsem další těleso ve tvaru kvádrů, které znázorňuje podložku (obr. 56). Přes funkce „Sphere to Plane Force“ tedy síla mezi koulemi a rovinou jsem nastavil kontaktní síly mezi koly a touto podložkou. Je možné u nich nastavit tuhost a tlumení při kontaktu, dále pak koeficient adheze mezi povrchy. Pro každé kolo jsem vytvořil jednu instanci této kontaktní síly (obr. 57).



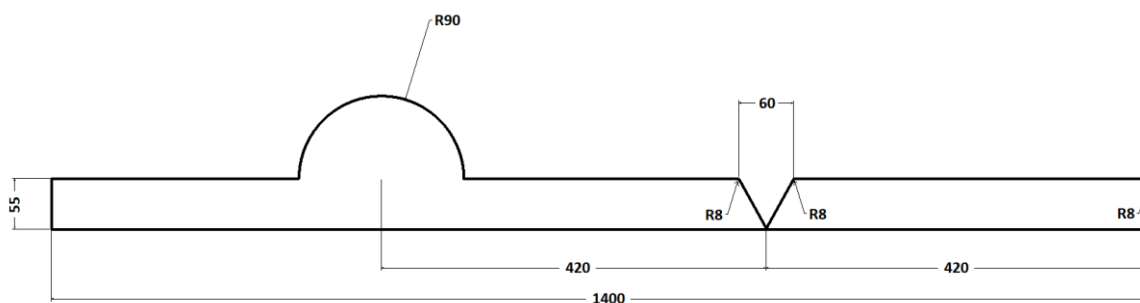
Obrázek 56: Model s podložkou v prostředí Mechanics Explorer



Obrázek 57: Kontaktní síly mezi koly a podložkou

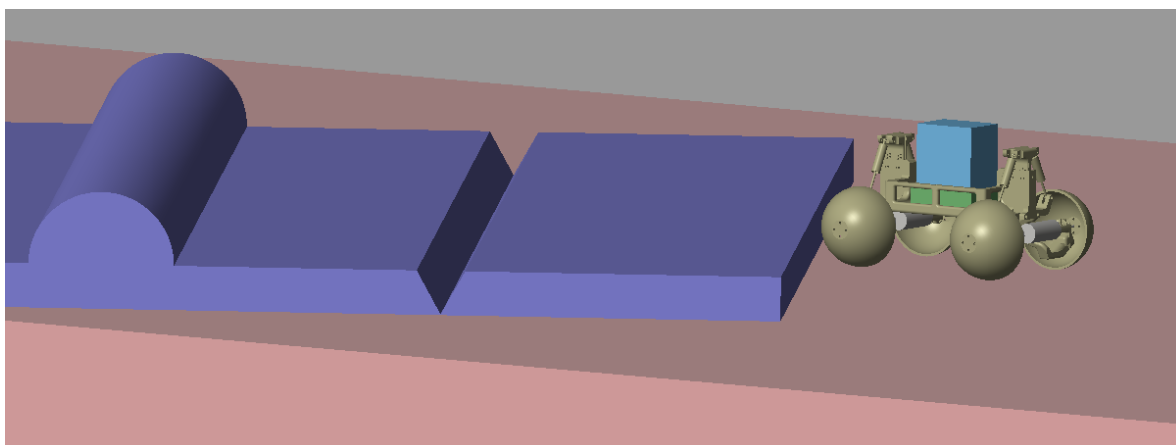
6.4.4 Tvorba dráhy pro testování průjezdnosti

Pro otestování průjezdnosti vozidla složitým terénem jsem vytvořil dráhu, na které se nachází tři různé typy překážek, je to schod s výškou větší, než je poloměr kola vozidla, dále pak drážka s „V“ profilem, a nakonec překážka ve tvaru půlválce. Na obrázku 58 je profil této dráhy s rozměry v milimetrech. Vozidlo startuje s natočením o 30 stupňů vůči normále přední plochy schodu a odsazením levého předního kola o 13 milimetrů od této plochy.

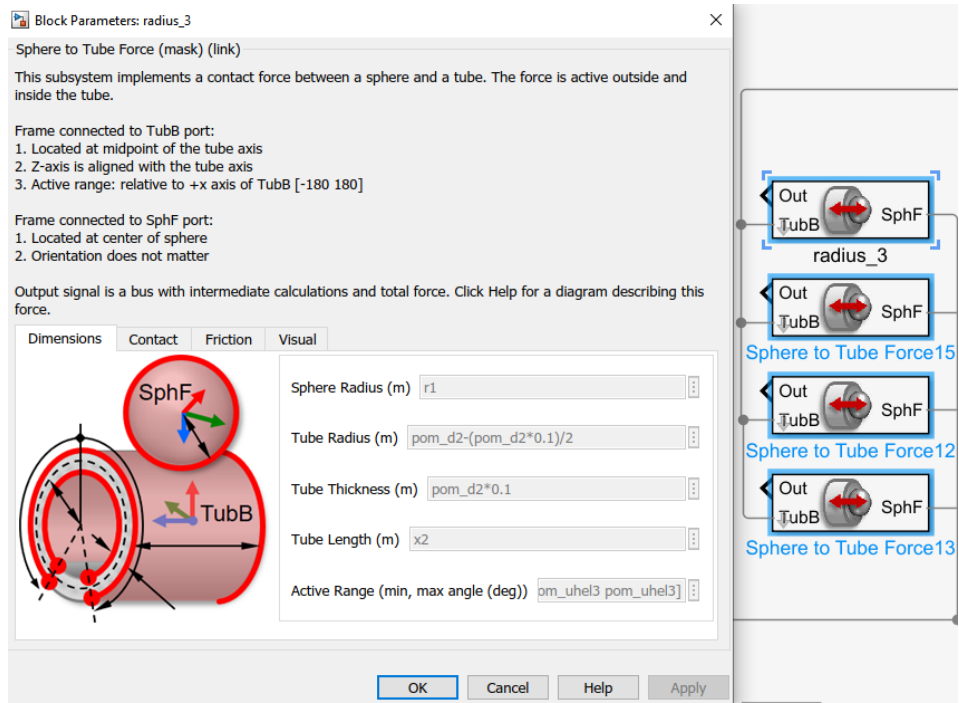


Obrázek 58: Profil dráhy

Celá dráha (obr. 59) pak reprezentuje základní typy možných překážek. Každý povrch této překážky jsem musel ošetřit funkcí kontaktní síly mezi rovinami a koly. Pro pohyb kol po hranách jsem použil funkci „Sphere to Tube Force“ tedy síla mezi koulí a trubkou pro vytvoření malého kontaktního radiusu o poloměru 8 milimetrů (obr. 60). Tento radius zde reprezentuje zaoblení reálných překážek. Stejnou funkci jsem použil i pro kontakt kol a překážky ve tvaru půlválce.



Obrázek 59: Dráha pro testování průjezdnosti



Obrázek 60: Kontaktní síly mezi koly a radiusy

6.4.5 Optimalizace tuhostí pružin

Pro optimalizaci jsem zvolil jako vstupní parametry tuhosti torzních pružin předních a zadních náprav, které chci pro mnou navrženou dráhu naladit na co nejkratší čas překonání. Tuhosti torzních pružin ovlivní kinematiku celého mechanismu a tím zlepší, nebo zhorší průjezdnost jednotlivých překážek.

Jako optimalizační nástroj jsem využil genetický algoritmus, který je implementovaný v knihovnách Matlabu. V Matlabu jsem vytvořil funkci (obr. 61), kterou má genetický algoritmus optimalizovat. Jako vstupní parametry jsem zadal tuhosti torzních pružin předních a zadních náprav. Výstupním parametrem funkce je čas a ten je tedy genetickým algoritmem minimalizován. Napsal jsem také skript (obr. 62), kterým volám genetický algoritmus.

```
1 function z=prubeh_simulace_Halda(x)
2     tuhost_torzni_pruziny_predni=x(1);
3     tuhost_torzni_pruziny_zadni=x(2);
4
5     simulation_parameters=[tuhost_torzni_pruziny_predni, tuhost_torzni_pruziny_zadni];
6     save simulation_parameters simulation_parameters;
7     set_param('sm_sestavu_newest', 'SimMechanicsOpenEditorOnUpdate', 'off')
8     sim('sm_sestavu_newest')
9
10    load vzdalenost_vozu
11
12    disp(['Cas simulace: ', num2str(vzdalenost_vozu.Time(end)), ' s']);
13
14    if vzdalenost_vozu.Time(end) <= 2.85
15        vzdalenost_vozu.Time(end) = 12;
16    end
17
18    disp(['Tuhost prednich torznich pruzin = ', num2str(tuhost_torzni_pruziny_predni), ' Nm/deg']);
19    disp(['Tuhost zadnich torznich pruzin = ', num2str(tuhost_torzni_pruziny_zadni), ' Nm/deg']);
20    c_iterace = getGlobalx;
21    c_iterace = c_iterace + 1;
22    setGlobalx(c_iterace);
23
24    optimization_data = [c_iterace, tuhost_torzni_pruziny_predni, tuhost_torzni_pruziny_zadni, vzdalenost_vozu.Time(end)];
25    optimization_data_save = getGlobalMat;
26    optimization_data_save = [optimization_data_save(1:c_iterace,:); optimization_data; optimization_data_save(c_iterace+1:end,:)];
27    setGlobalMat(optimization_data_save);
28    save optimization_data_save optimization_data_save
29
30    disp(['Cislo iterace: ', num2str(c_iterace)]);
31    disp(['Hodnota kriteria: ', num2str(vzdalenost_vozu.Time(end))]);
32
33    z=vzdalenost_vozu.Time(end);
```

Obrázek 61: Funkce optimalizovaná genetickým algoritmem

```

clear all, close all, clc;

%% A*x <= b - meze
% x>8e-4; x<1e-2; y>1e-3; y<1.5e-2
% x...tuhost_torzni_pruziny_predni
% y...tuhost_torzni_pruziny_zadni

A=[-1  0
    1  0
    0 -1
    0  1];
b=[-8e-4; 1e-2; -1e-3; 1.5e-2];

% volani genetického algoritmu pro funkci @prubeh_simulace_Halda
setGlobalx(0)
setGlobalMat(zeros(1,4))

[x, fval, output, scores, population, best]=ga(@prubeh_simulace_Halda, 2, A, b);
save x x

return

```

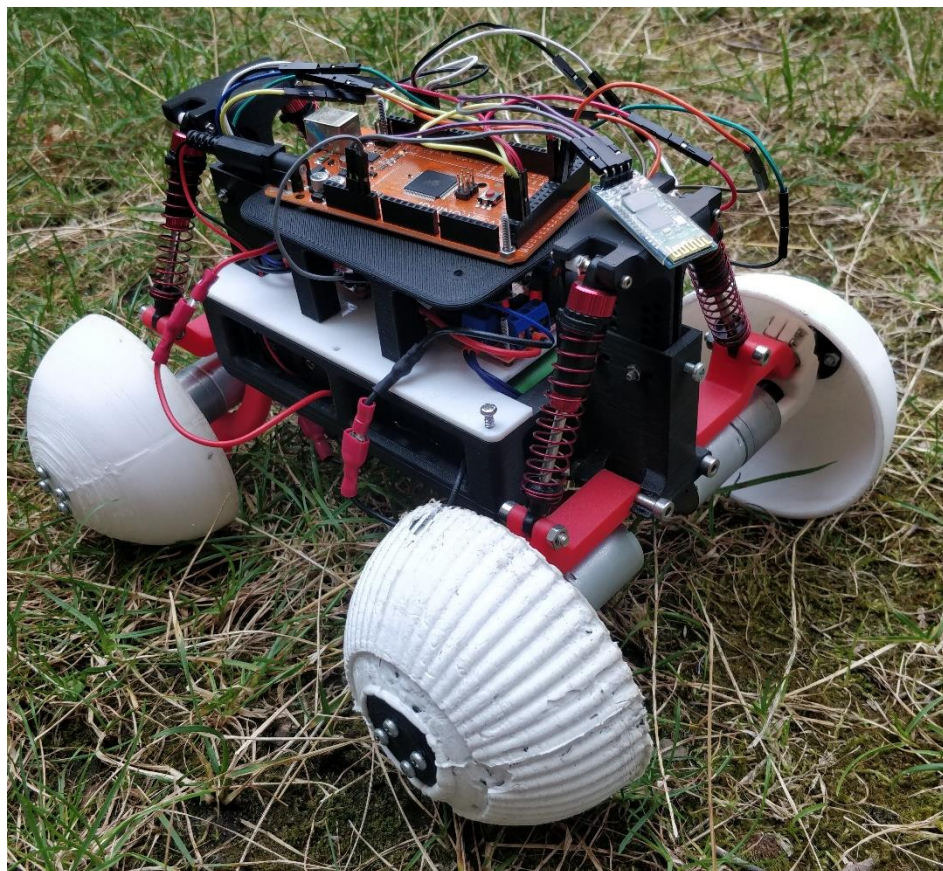
Obrázek 62: Skript pro nastavení mezí a volání genetického algoritmu

Výpočet každé simulace přejezdu celé dráhy trval mezi 6 a 15 minutami a kvůli tomu celá optimalizace genetickým algoritmem byla časově náročná, celá optimalizace běžela dny. Po každé iteraci jsem uložil data a po 631 iteracích jsem získal optimální nastavení tuhostí pružin. Pro urychlení výpočtu jednotlivých simulací jsem nastavil podmínku pro ukončení simulace při překročení doby 12 sekund. Jako další podmínku pro ukončení simulace jsem také nastavil kritéria nepřekonání vzdálenosti středu vozidla 26 milimetrů od začátku první překážky, v čase 2,6 sekund, kterou jsem po zkoumání pohybu vozidla vyhodnotil jako kritickou. Pokud totiž vozidlo nepřekročí tuto vzdálenost v čase přibližně 1,6 sekund od začátku simulace, kola zadní nápravy prokluzují na hraně první překážky a už se jen protáčí bez jakéhokoli pokroku.

Čas nejkratšího průjezdu dráhou vyšel 6,856 sekund s naladěním tuhosti předních torzních pružin na $2,1184 \cdot 10^{-3} \text{ Nm} \cdot \text{deg}^{-1}$ a tuhosti zadních torzních pružin $11,629 \cdot 10^{-3} \text{ Nm} \cdot \text{deg}^{-1}$.

6.5 Stavba fyzického modelu

Celý model byl modelován s vidinou možnosti tisku většiny součástí na 3D tiskárně (obr. 61). Musel jsem tedy jak rozměrově, tak geometricky většinu součástí navrhovat se znalostí mechanismu a chování 3D tisku. Dále jsem se rozhodl vytvořit rotační vazby, kriticky důležité pro správné chování modelu, s ložisky. Většinu dílů jsem pak spojoval spojovacím materiálem a pro přenos otáček z motoru jsem využil ocelové hřídele.



Obrázek 63: Fyzický model

6.5.1 Tisk součástí

K tisku součástí jsem nejprve pouze modeloval součásti v prostředí Autodesk Inventor. Modely součástí jsem nechal připravit v programu Prusa Slic3r pro vrstvení modelu a přípravu G kódu nutného k tisku součástí. Poté jsem soubor pro tisk součástí nahrál na micro SD kartu a na tiskárně Prusa i3 jsem použil materiál PLA pro tisk. 3D tisk mě tak zaujal, že mě přiměl ke koupi vlastní 3D tiskárny Creality Ender 3 Pro, na které jsem dotiskl díly, které ještě potřebovaly upravit, nebo například nová kola, která vyžadovala přidání povrchu s lepší adhezí vůči většině povrchů, po kterých by model mohl jezdit.

6.5.2 Výroba povrchu kol pro lepší adhezi

Po vytvoření celého modelu jsem narazil na problém malé adheze kol vůči většině povrchů. Rozhodl jsem se tedy plastová kola obalit v silikonu a tím vyrobit lepší vzorek a povrch pro minimalizaci prokluzování kol vozidla. Na obrázku 62 je (první zleva) první verze kola, která je čistě dutá polokoule vytištěná na 3D tiskárně. Vzorek druhý zleva ukazuje novou verzi kola s vyrobeným vzorkem na vnějším povrchu pro uchycení silikonu na povrchu kola, taky zatím tištěný na 3D tiskárně jako celek. Třetí zleva pak je forma pro výrobu povrchu kola nově obaleného kola. Čtvrtý vzorek zleva je pak finální kolo vytištěné na 3D tiskárně se silikonovým povrchem vytvořeným nanesením silikonu na kolo a přitlačením formy s následným tuhnutím. Na obrázku 63 je pak pohled na vnitřní stranu součástí.



Obrázek 64: Vývoj kola - vnější pohled



Obrázek 65: Vývoj kola - vnitřní pohled

6.5.3 Tvorba vazeb mezi součástmi

Většina pevných spojů je řešena spojovacím materiálem, tedy šrouby a maticemi, případně podložkami, nebo jen šrouby zašroubovanými přímo do plastových vytištěných dílů, u kterých jsem udělal menší díru pro šroub, kterým jsem v ní závit následně prořízl. Hřídele spojující elektromotory s koly jsou spojeny vytištěnou spojkou (obr. 64) a stavěcími šrouby.



Obrázek 66: Spojka hřídele a motoru

Spojení součástí do vazeb, které odpovídají chování modelu jsem rozvrhnul na spoje s ložisky, které se nutně musí pohybovat jen s mírnými třecími ztrátami. Dále pak vazby, na které díky ostatním silám nemají třecí ztráty takový vliv. Vazby s ložisky jsou primární a sekundární osa každého zavěšení kola. Zbytek pak je řešen pouhou vůlí mezi plochami spojených dílů a upevnění šroubem a maticí.

6.5.4 Pohon

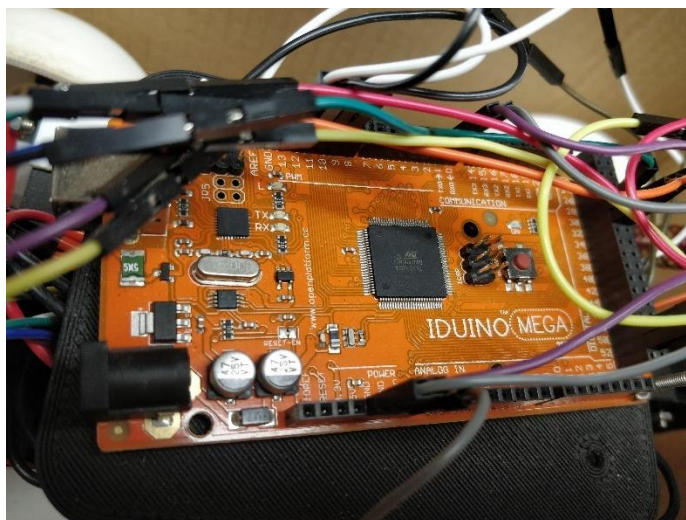
Pro celý model využiji jeden motor pro každé kolo, celkem tedy čtyři motory. Motory jsou 12Voltové stejnosměrné motory s redukčním převodem (obr. 65). Kvůli napájení celého systému jsem musel vybrat motory s maximálně 12 Volty napětí. Maximální otáčky těchto motorů jsou 80 otáček za minutu při maximálním napětí, tedy 12 Voltech. Zvolil jsem tyto motory s redukční převodovkou z důvodu maximálního možného točivého momentu ale relativně pomalé rotace, jelikož toto vozidlo má za cíl přejet rozmanité překážky v pomalé rychlosti a analyzovat při tom kinematiku vozu.



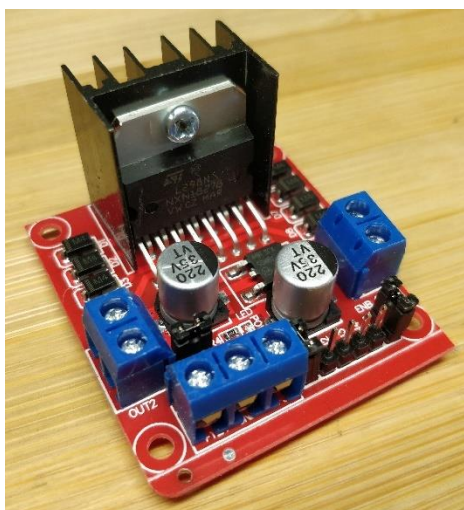
Obrázek 67: Elektromotor s redukční převodovou skříní

6.5.5 Elektronika

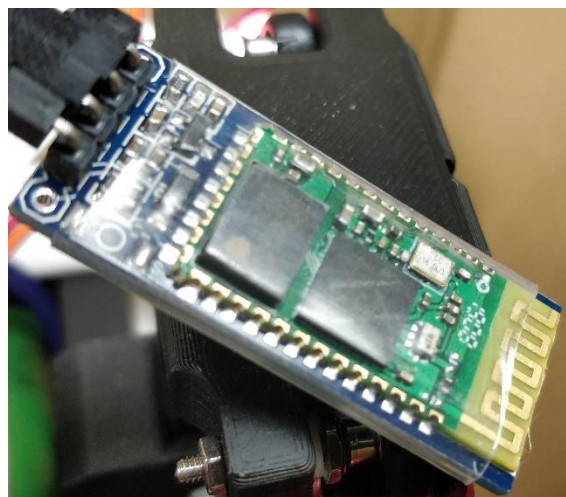
Pro řídicí jednotku vozidla jsem využil platformy Iduino Mega (obr. 66). Iduino je čínská kopie platformy Arduino. Jako celek mi poslouží tato platforma pro lehce a levně realizovatelnou řídicí jednotku mého vozidla. Pro každý elektromotor jsem zvolil pro řízení napětí a tím ovladatelnost otáček motoru H můstek L298N (obr. 67). Tento H můstek umožňuje připojit a řídit dva stejnosměrné elektromotory s maximálním napětím 15 Voltů. Pro všechny čtyři motory tedy celkem využiji dva H můstky. Jako poslední hardwarová komponenta k sestavení řídicí jednotky slouží Bluetooth přijímač a vysílač HC-06 (obr. 68), který je nutný pro spárování s mobilním zařízením.



Obrázek 68: Iduino Mega



Obrázek 69: H můstek L298N

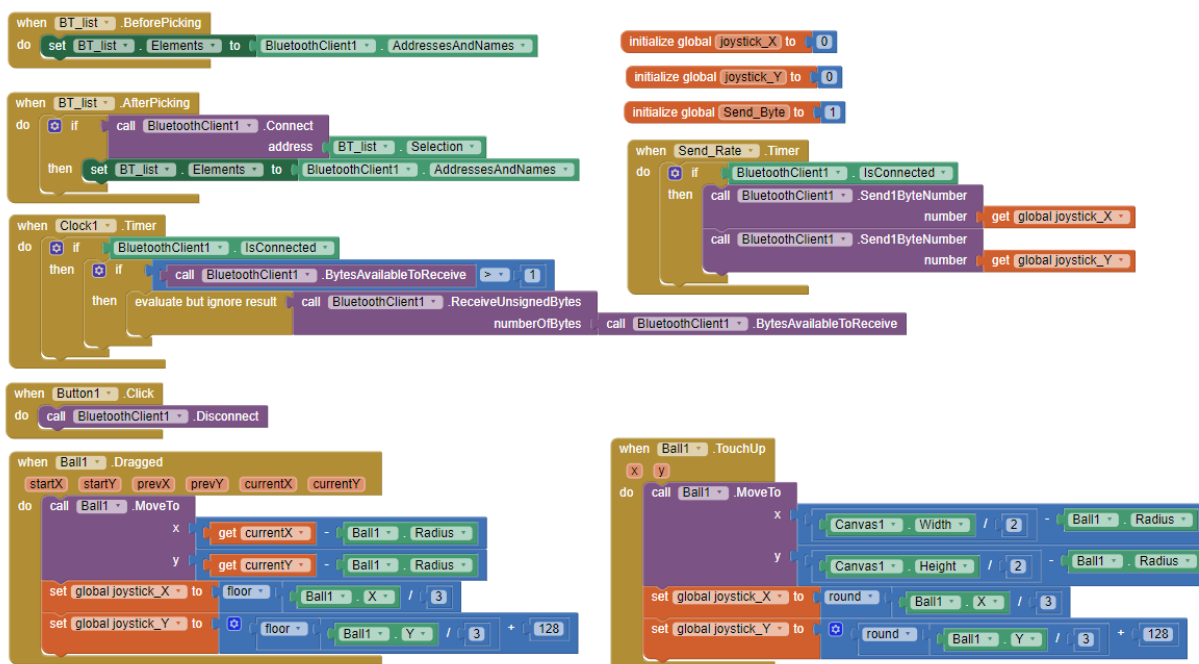


Obrázek 70: Bluetooth modul HC-06

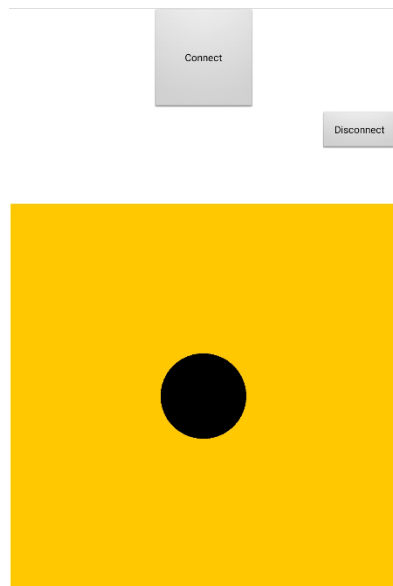
Iduino vyžaduje elektrický zdroj stejnosměrného napětí v rozmezí od 6 do 12 Voltů. Pro napájení Iduina jsem využil sériově zapojené dvě 3,7Voltové baterie typu Li-ion 18650 a pro napájení motorů pak čtyři totožné 3,7Voltové články zapojené také v sérii. Tímto jsem docílil napájení Iduina s přibližně 7,4 Volty (závisí na stavu nabití bateriových článků) a napájení motorů přibližně 14,8 Volty.

6.5.6 Ovládání modelu

Dále jsem vytvořil aplikaci pro Android v prostředí MIT App Inventor (obr. 69), což je online vývojové prostředí pro tvorbu Android aplikací. Tato aplikace se pomocí technologie Bluetooth spojí s modelem vozidla a nachází se zde rozhraní (obr. 70) pro ovládání motorů vozidla. K tomuto slouží tlačítko „Connect“, které otevře list spárovaných dostupných Bluetooth zařízení. Po načtení tohoto listu lze vybrat zařízení HC-06.



Obrázek 71: Programování aplikace v prostředí MIT App Inventor



Obrázek 72: Aplikace pro ovládání vozidla

Po úspěšném spárování obou zařízení je možné motory auta ovládat přes digitální joystick, který je naprogramovaný tak, aby při posunutí kterýmkoli směrem od centra vozidlo jelo odpovídajícím směrem. Čím dále se posune černá část od centra ve směru nahoru, tím rychleji vozidlo pojedě dopředu. Čím dále pak ve směru dolů, tím rychleji pojedě vozidlo dozadu. Zatáčení je vyřešeno jako u tanku, tedy čím dále se posune černá část doleva, či doprava, auto udržuje směr rotace motorů, ale gradientně začne ubírat otáčky na levých či pravých kolech, v závislosti na směru zatáčení. Nastavení tohoto chování jsem řešil aktivním testováním, dokud jsem nedocílil vyhovujícího chování. Tato aplikace pak posílá přes Bluetooth spojení s modulem HC-06 čísla od 1 do 255 Iduinu. Tato množina čísel je rozdělena do podmnožin tak, aby pro určité směry odesílala čísla dle pozice černého prvku na žlutém čtverci, na kterém se právě nachází.

Pro přijímání tohoto signálu a následné zpracování Iduinem jsem vytvořil program, který se cyklicky opakuje. Na obrázcích 71 a 72 jsou úryvky programu. Tento program zpracovává přijatá čísla a podle naprogramování poté posílá na jednotlivé výstupy odpovídající hodnotu, tedy 0 až 255, což je pro PWM porty maximální rozsah.

```

motors_control_joystick_DIPLOMKA | Arduino 1.8.13 (Windows Store 1.8.42.0)
File Edit Sketch Tools Help

motors_control_joystick_DIPLOMKA

// Variables for controlling speed of the motors.
int speed_front_left = 0;
int speed_front_right = 0;
int speed_rear_left = 0;
int speed_rear_right = 0;
int speed_off = 0;
int pwm_min_X = 80;
int pwm_min_Y = 0;
int pwm_max = 255;

// Constants for motor pins.
const int front_left = 12;
const int front_left_1 = 33;
const int front_left_2 = 31;

const int front_right = 11;
const int front_right_1 = 51;
const int front_right_2 = 53;

const int rear_left = 10;
const int rear_left_1 = 30;
const int rear_left_2 = 32;

const int rear_right = 9;
const int rear_right_1 = 50;
const int rear_right_2 = 52;

// Constants for canvas size.
const int left_side = 50;
const int right_side = 200;
const int top_side = 50;
const int bottom_side = 200;
const int center = 125;

// Canvas coordinates transformation to center canvas being x,y = [0, 0].
int transform_X_left = 0;
int transform_X_right = 0;
int transform_Y_top = 0;
int transform_Y_bottom = 0;

// Variables for storing bluetooth joystick position.
int dataIn[5] {0,0,0,0}; // Array to store all the information. 255, button, X, Y.
int in_byte = 0;
int array_index = 0;

int direction_change_condition = 200;
int change_direction_left1 = 0;
int change_direction_left2 = 0;
int change_direction_right1 = 0;
int change direction right2 = 0;

```

Obrázek 73: Program pro Arduino - inicializace

```

motors_control_joystick_DIPLOMKA | Arduino 1.8.13 (Windows Store 1.8.42.0)
File Edit Sketch Tools Help

motors_control_joystick_DIPLOMKA

// Driving FORWARD
if (dataIn[3] < center && dataIn[3] >= top_side)
{

// Turning LEFT
if (dataIn[2] < center)
{
  if (transform_X_left >= direction_change_condition)
  {
    change_direction_left1 = LOW;
    change_direction_left2 = HIGH;
    speed_front_left = transform_X_left;
    speed_rear_left = transform_X_left;
  }
  else
  {
    change_direction_left1 = HIGH;
    change_direction_left2 = LOW;
    speed_front_left = transform_Y_top - transform_X_left;
    speed_rear_left = transform_Y_top - transform_X_left;
  }
  speed_front_right = transform_Y_top;
  speed_rear_right = transform_Y_top;
  change_direction_right1 = HIGH;
  change_direction_right2 = LOW;
}

// Turning RIGHT
else if (dataIn[2] > center)
{
  if (transform_X_right >= direction_change_condition)
  {
    change_direction_right1 = LOW;
    change_direction_right2 = HIGH;
    speed_front_right = transform_X_right;
    speed_rear_right = transform_X_right;
  }
  else
  {
    change_direction_right1 = HIGH;
    change_direction_right2 = LOW;
    speed_front_right = transform_Y_top - transform_X_right;
    speed_rear_right = transform_Y_top - transform_X_right;
  }
  speed_front_left = transform_Y_top;
  speed_rear_left = transform_Y_top;
  change_direction_left1 = HIGH;
  change direction left2 = LOW;
}
}

```

Obrázek 74 Program pro Arduino - část programu

Závěr

V této práci jsem provedl rešerši na téma vozidel s vysokou průchodností terénem. Popsal jsem základní typy podvozků, přičemž některé z nich jsou dokonce vyráběny pro osobní využití. Vozidla s výrazně upraveným podvozkem pro zvýšenou průjezdnost terénu nejsou masově vyráběna a mnoho zajímavých konceptů vzniká důsledkem experimentování jednotlivců.

Seznámil jsem se se způsoby řešení kinematiky prostorových mechanismů pomocí literatury uvedené v seznamu zdrojů. Z důvodu komplexnosti mého modelu a v důsledku kontaktní úlohy jsem pro výpočet kinematiky a dynamiky vytvořil model mechanismu v prostředí Matlab a Simulink.

Po inspiraci patentem 206618 [22] a původním modelem vytvořeným Josefem Kovářem, vlastníkem tohoto patentu, jsem navrhl vlastní model. Pro tento model jsem poté provedl optimalizaci v prostředí Matlab a Simulink s kritériem co nejkratšího času průjezdu mnou vytvořenou dráhou. Tuto optimalizaci jsem provedl pomocí genetických algoritmů. Optimalizaci jsem zastavil po 631 iteracích s nalezením lokálního minima pro nejkratší dobu průjezdu.

Nakonec jsem celý model navrhl pro tisk na 3D tiskárně, vytiskl, sestavil a oživil. Pomocí platformy Arduino jsem naprogramoval a realizoval řídicí jednotku pro mnou navrženou elektroniku modelu. V prostředí MIT App Designer jsem vytvořil aplikaci pro Android, díky které lze model vozidla ovládat skrze Bluetooth technologii.

Seznam zdrojů

- [1] WENHAO, Li a Kang FENG. *Design and Analysis of Steering and Lifting Mechanisms for Forestry Vehicle Chassis* [online]. 2020, 16 [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2020/5971746/>
- [2] Terénní vozidlo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Wikimedia Foundation [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Ter%C3%A9nn%C3%AD_vozidlo#
- [3] Astra, spol. s r. o.: *Modelářský velkoobchod* [online]. 2020 [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://www.astramodel.cz/cz/blog/nove-gumove-pasy-deep-terrain-pro-trx-4-traxx.html>
- [4] WEISS, C.C. *Hyundai's Elevate robotic walking car steps out of the shadows* [online]. 2020 [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://newatlas.com/hyundai-elevate-robotic-walking-car/57922/>
- [5] HUNTA OVERCOMER ALL-PURPOSE VEHICLE. *Deftech Global Limited* [online]. 2020 [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://deftech-ltd.com/products/ground-vehicles-and-equipment/armoured-engineering-vehicles/23-hunta-overcomer-all-purpose-vehicle.html>
- [6] KOLMAN, Stanislav. *Hunta Overcomer: Seznamte se s běloruským monstrem, které zvládne jakýkoliv terén. Umí i plavat!* *Auto.cz* [online]. 2018 [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/hunta-overcomer-seznamte-se-s-beloruskym-monstrem-ktere-zvladne-jakykoliv-teren-umi-i-plavat-112792>
- [7] *Hunta Overcomer: bieloruský off-road nezastaví ani voda či řadové kryhy.* *SME* [online]. [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://auto.sme.sk/g/45586/hunta-overcomer-bielorusky-off-road-nezastavi-ani-voda-ci-ladove-kryhy?photo=p1375022>
- [8] RIPSAN EV3-F4: Extreme Vehicle Series with Floating Cockpit. *Textron Systems* [online]. [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://www.textronsystems.com/products/ripsaw-ev3-f4>
- [9] POLESNÝ, David. *Ripsaw EV2 je luxusní osobní tank. Jede sedmdesátkou a nic ho nezastaví* [online]. 2017 [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://www.e15.cz/magazin/ripsaw-ev2-je-luxusni-osobni-tank-jede-sedmdesatkou-a-nic-ho-nezastavi-1334106>
- [10] *Ripsaw* [online]. [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <http://www.ripsawtank.com/>
- [11] Extreme Oddity – Chainlink 4x4 Will Take It Where Other Rock Crawlers Cannot Go. *Throttlextreme* [online]. 2020 [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://www.throttlextreme.com/extreme-oddity-chainlink-4x4-will-take-rock-crawlers-cannot-go/>

- [12] CHAINLINK - absolutely extreme 4X4 self leveling vehicle that goes in places where the others would never even think nor dare to venture. *Reddit* [online]. 2019 [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: https://www.reddit.com/r/WeirdWheels/comments/ccgjjk/chainlink_absolutely_extreme_4x4_self_leveling/
- [13] VALÁŠEK, Michael. *Kinematika robotických systémů* [online]. VUT v Brně, 2011 [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/33762110-Kinematika-roboticky-systemu.html>
- [14] STEJSKAL, Vladimír a Michael VALÁŠEK. *Kinematics and dynamics of machinery*. New York: Marcel Dekker, 1996. ISBN 08-247-9731-0.
- [15] *The MathWorks, Inc.* [online]. 2020 [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: https://www.mathworks.com/?s_tid=gn_logo
- [16] Control Unit (CU). *Techopedia Inc.* [online]. 2012 [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://www.techopedia.com/>
- [17] *PLC HISTORY: The concise PLC History* [online]. 2007 [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: http://www.machine-information-systems.com/PLC_History.html
- [18] *Arduino* [online]. 2020 [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/>
- [19] *Conrad Electronics* [online]. 2020 [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://velkoobchod.conrad.cz/>
- [20] *RASPBERRY PI FOUNDATION* [online]. 2020 [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/>
- [21] Raspberry Pi. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Wikimedia Foundation [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi#
- [22] KOVÁŘ, Josef a Miloš SUCHÝ. *Závěs pojzdového ústrojí terénních vozidel*. 15. 11. 1983, n. l. 206618. Česká republika. Uděleno 15. 9. 1980. Zapsáno 15. 11. 1983.