VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

ELEKTRICKÉ TERÉNNÍ VOZIDLO PRO DĚTI

ELECTRIC OFF-ROAD VEHICLE FOR CHILDREN

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE Bc. Adéla Dostálová
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Petr Hejtmánek, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Studentka:	**Bc. Adéla Dostálová**
Studijní program:	Automobilní a dopravní inženýrství
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	**Ing. Petr Hejtmánek, Ph.D.**
Akademický rok:	2022/23

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Elektrické terénní vozidlo pro děti

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Malé elektrické terénní vozidlo pro děti, nazývané též crosskart, je plnohodnotné závodní vozidlo menších rozměrů. Navržené vozidlo by mělo mít bezpečný, ale zároveň lehký trubkový rám vedoucí i nad hlavou řidiče, pohon zadních kol pomocí elektromotoru s výkonem přibližně 1 kW a odpružení všech kol. Vozidlo by mělo být primárně určeno pro děti ve věkovém rozpětí 3–7 let.

Cíle diplomové práce:

Rešerše dětských crosskart vozidel.
Stanovení požadavků na konstrukci.
Koncepční návrh vozítka.
Konstrukční návrh rámu a příslušenství.
Návrh pohonného systému.
Pevnostní analýza klíčových komponent.
Cenový odhad návrhu.

Seznam doporučené literatury:

BUDYNAS, Richard G., NISBETT, J. Keith a SHIGLEY, Joseph Edward. Shigley's mechanical engineering design. 10th edition. New York, NY: McGraw-Hill Education, 2015. 1104 s. ISBN 0073398209.

MILLIKEN, William a MILLIKEN, Douglas. Race Car Vehicle Dynamics. 1st edition. Warrendale: SAE, 1995. 857 s. ISBN 1-56091-526-9.

JAN, Zdeněk, ŽDÁNSKÝ, Bronislav a ČUPERA Jiří. Automobily (1): Podvozky. Brno: Avid, spol. s r.o., 2009. 245 s. ISBN 978-80-87143-11-7.

GILLESPIE, Thomas. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992. 519 s. ISBN 1-56091-199-9.

REIMPELL, Jornsen. The Automotive Chassis. 2nd edition. Oxford: Butterworth - Heinemann, 2001. 444 s. ISBN 0-7506-5054-0.

DIXON, John C. The Shock Absorber Handbook. 2nd Edition. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2007. 432 s. ISBN 0-7680-0050-5.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zaměřuje na návrh elektrického terénního vozidla pro děti, jehož koncepce má připomínat závodní buggy. Pohonem tohoto vozidla bude elektromotor napájený bateriemi. Výstupem práce je celkový koncepční návrh, konstrukční navržení bezpečnostního rámu a příslušenství. Bezpečnostní rám bude podroben homologační zkoušce. Návrh buggy je podroben cenovému odhadu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Elektrické vozidlo, buggy, bezpečnostní rám, deformace, příslušenství vozidla, elektromotor, baterie, cenový odhad

ABSTRACT

The master's thesis focuses on the design of an electric off-road vehicle for children, the concept of which is based on racing buggy. This vehicle will be power by an electric motor. The output of the work is the overall conceptual design, structural design of the safety frame and accessories. The safety frame will undergo a homologation test. The design of the buggy is subject to a price estimate.

KEYWORDS

Electric vehicle, buggy, safety frame, deformation, vehicle accessories, electric motor, battery, price estimate

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DOSTÁLOVÁ, Adéla. *Elektrické terénní vozidlo pro děti.* Brno, 2023. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/148908. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Petr Hejtmánek.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracovala jsem ji samostatně pod vedením Ing. Petra Hejtmánka a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 26. května 2023 ……..……..

Adéla Dostálová

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala všem, kteří se podíleli na vzniku této diplomové práce. Především bych chtěla poděkovat vedoucímu práce Ing. Petru Hejtmánkovi za odborné vedení a pomoc při psaní této práce a kolegovi Bc. Filipu Dlouhému za spolupráci a trpělivost při tvorbě návrhu buggy.

OBSAH

Úvod **11**

1 Elektrická terénní vozidla **12**
1.1 Bezpečnostní rám buggy 12
1.1.1 Základní prvky rámu 12
1.1.2 Strukturální analýza bezpečnostního rámu 13
1.2 Akumulátory a baterie 15
1.2.1 Gelové baterie 15
1.2.2 AGM baterie 16
1.2.3 Li-on akumulátory 16
1.2.4 Ni-Cd akumulátory 16
1.2.5 Důležité poznatky 16
1.3 Elektromotor 17
1.3.1 DC motory 17
1.3.2 AC motory 18
1.3.3 Elektromotor pro návrh buggy 19
1.4 Technická pravidla 19
1.4.1 Základní parametry RB125 a RB250 20
1.4.2 Bezpečnostní výbava 20
1.4.3 Karoserie 22
1.4.4 Shrnutí poznatků pro návrh buggy 22
1.5 Růst dítěte 23
1.5.1 Požadavky na rozměry buggy 27
1.6 Přehled terénních vozítek pro děti 28
1.6.1 Mamido a jiná obchodní autíčka 28
1.6.2 Hecht Motors Buggy 31
1.6.3 Sunway dune 1000W 33
1.6.4 Havel Buggy 34

2 Požadavky na dětskou buggy **38**

3 Koncepční návrh vozidla **39**

4 Konstrukční návrh **41**
4.1 Konstrukční návrh rámu 41
4.1.1 Výrobní postup 43
4.1.2 Homologační zkouška 44
4.2 Konstrukční návrh příslušenství 51
4.2.1 Pedálová sestava 51
4.2.2 Částečná sestava řízení 53
4.2.3 Příslušenství 54

5 Návrh pohonného systému **57**
5.1 Návrh elektromotoru 57
5.1.1 Výpočet rychlosti 58
5.1.2 Potřebný hnací výkon 59
5.2 Návrh akumulátoru 61

5.2.1 příslušenství baterií ... 64

6 Cenový odhad ... 65
6.1 Materiál rámu ... 65
6.2 Materiál podlahy ... 65
6.3 Cena pedálové sestavy ... 65
6.4 Sedadlo řidiče ... 65
6.5 Řízení ... 65
6.6 Box s bateriemi ... 65
6.7 Cena elektromotoru ... 66
6.8 Shrnutí ... 66

Závěr ... 67

Použité informační zdroje ... 69

Seznam použitých zkratek a symbolů ... 74

Seznam příloh ... 77

ÚVOD

Elektrická vozidla pro děti jsou v posledních letech k vidění v mnoha obchodech. Jejich design a provedení se od sebe příliš neodlišují. Základem bývá stylová a bezpečná karoserie a jednoduché tuhé nápravy se základním odpružením.

Nejjednodušší z elektrických vozidel nalezneme ve většině hračkářství, či větších supermarketech. Takováto vozidla jsou přizpůsobena spíš pro cestu po městě a slouží k zabavení dítěte při přemístění z bodu A do bodu B. Nemůžeme však vyloučit i jízdu v terénu. Maximální rychlost těchto vozidel je však 5-8 $km \cdot h^{-1}$. Jsou určena převáženě pro děti od tří do sedmi let. Ve většině případů jsou vybavena dálkovým ovládáním, kterým jsou řízena, ale umožňují, aby i sami děti mohly řídit. Součástí výbavy také bývají světelné a zvukové efekty. Cena takovýchto vozidel se pohybuje přibližně od 6 000,- Kč.

Ovšem existují i vozidla, která jsou více přizpůsobena pro jízdu v terénu. Jedná se o takzvané buggy nebo čtyřkolky. Tyto vozidla jsou vybavena řadou bezpečnostních prvků, která splňují dané normy, převážně normy platné v Evropské unii, a zamezují vážným zraněním malého řidiče. Jejich výkon a baterie jsou samozřejmě lepší než u předchozího řešení. Najdeme je většinou v obchodech, které jsou na ně zaměřené. Typickou koncepcí je lichoběžníkové zavěšení a bezpečnostní rám. Pokud se jedná o autíčko typu buggy, vede tento rám často i nad hlavou řidiče, což v případě převrácení vozidla zabraňuje vážným zraněním. Záleží však na typu samotného vozítka. U těchto vozidel je častější verze, která funguje na pohonná paliva než verze, která využívá elektrické energie. Časem se do popředí mohou dostat právě autíčka s elektrickým pohonem. Důvodem může být ekologičtější provoz, tišší chod samotného motoru a přímý převod elektrické energie na energii pohybovou. Cena vozítka se pohybuje od 20 000,- Kč.

Elektrická vozidla lze najít i v závodech jak v kategorii junior, tak senior. Zatím se tyto kategorie v České republice neuchytily, ale v zahraničí se pomalu stávají součástí větších závodů. Konstrukce závodních vozítek je omezena jak z bezpečnostních důvodů, tak z důvodů, která souvisejí s čestnými závody. Nejmladším závodníkům bývá kolem pět let [1].

Tato práce se bude zabývat elektrickými terénními vozidly pro děti od tří do sedmi let. Nejprve bude vytvořena rešerše o již existujících vozidlech této kategorie. Jaké jsou jejich základní parametry a koncepce. Následně bude popsán antropometrický vývoj dítěte, který je potřeba pro návrh některých částí vozidla.

V druhé části této diplomové práce bude vytvořen koncepční návrh elektrického vozidla. Práce se bude zaměřovat na samotný rám konstrukce, který se bude skládat z ocelových trubek, a pohon, kterým bude elektromotor s bateriemi. Dále se bude zabývat výškovou variabilitou dětí a v návaznosti na toto zajištění pohodlí při řízení navrženého vozítka. Poté bude vytvořen model vozítka v programu SolidWorks a vypočtena pevnostní analýza klíčových komponent, tedy bezpečnostního rámu, v programu ANSYS. Práce je psána ve spolupráci s kolegou Bc. Filipem Dlouhým, který navrhuje přední a zadní zavěšení společně s brzdami a řízením.

1 ELEKTRICKÁ TERÉNNÍ VOZIDLA

Elektrická terénní vozidla určená pro děti jsou dnes velmi populární, proto jsou vyráběna v mnoha podobách. V této části diplomové práce budou shrnuty základní rysy vozidel, se kterými se můžete setkat, porovnány na vybraných druzích buggy a pro správné určení rozměrů vozidla v praktické části diplomové práce bude zkoumán vzrůstový vývoj dítěte.

1.1 BEZPEČNOSTNÍ RÁM BUGGY

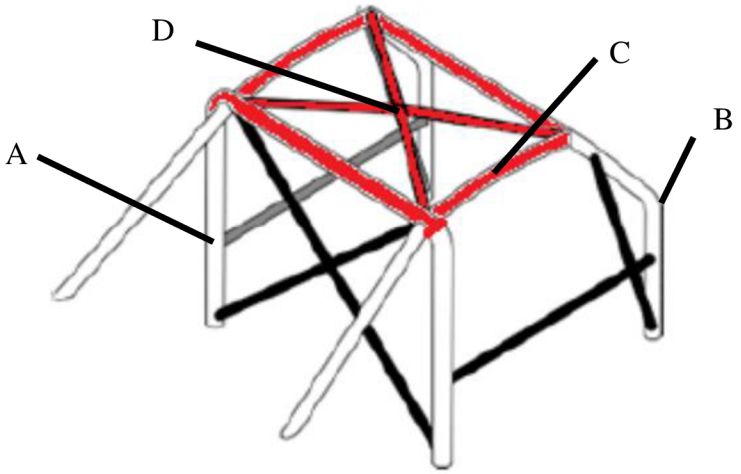
Základem vozidla je vždy karoserie nebo bezpečnostní rám. V případě buggy se jedná o rám, který je vytvořen z trubek. Trubky mohou mít kruhový nebo čtvercový profil. Rám také musí vyhovovat určitým bezpečnostním pravidlům. Pokud se jedná o závodní buggy musí být rám podroben homologačním zkouškám daných normami FIA.

1.1.1 ZÁKLADNÍ PRVKY RÁMU

Následující informace byly převzaty z č. 253 MSŘ [2].

Mezi základní prvky bezpečnostního rámu patří (obr. 1):

- Oblouk – trubkovitá struktura, která se dvěma deskami, ke kterým je upevněna, tvoří oblouk
- Hlavní oblouk (A) – nachází se za předními sedadly vozidla a jedná se o příčný skoro vertikální oblouk
- Přední oblouk (B) – tvarem kopíruje sloupky a horní okraj střechy
- Boční oblouk – trubkovitá struktura, která je umístěna z obou stran prostoru pro posádku, přední sloupek kopíruje sloupek předního skla a zadní sloupek je svislý a nachází se za předními sedadly
- Boční půloblouk – stejný jako boční oblouk, ale jeho součástí není zadní sloupek
- Podélná vzpěra (C) – jednodílná trubka, která spojuje horní část předního oblouku a hlavního oblouku
- Příčná vzpěra – jednodílná trubka, která spojuje horní části bočních půloblouků nebo oblouků
- Výztuhy (D) – trubky sloužící k zvýšení tuhosti rámu



Obrázek 1: Možná konfigurace bezpečnostního rámu [2]

1.1.2 STRUKTURÁLNÍ ANALÝZA BEZPEČNOSTNÍHO RÁMU

Rám buggy musí zajišťovat bezpečnost pro řidiče vozidla. Z tohoto důvodu existují testy, kterým je rám vystaven a na jejich základě je vyhodnocena bezpečnost rámu. Jedním z takovýchto testů je homologační zkouška, které jsou podrobeny všechny závadní buggy. Tato zkouška je přímo dána pravidly organizace FIA. Testování musí být provedena v certifikované zkušebně. Vyhodnocení zkoušky probíhá na základě velikosti deformace na rámu. FIA předepisuje tři statické zkoušky za daných podmínek.

ZKOUŠKA ZATÍŽENÍ HLAVNÍHO OBLOUKU

Zkouška zatížení hlavního oblouku je prováděna pomocí tuhého trnu, který je vyroben z oceli. Konstrukce rámu musí být sestrojena tak, aby zvládla odolat statickému zatížení o síle:

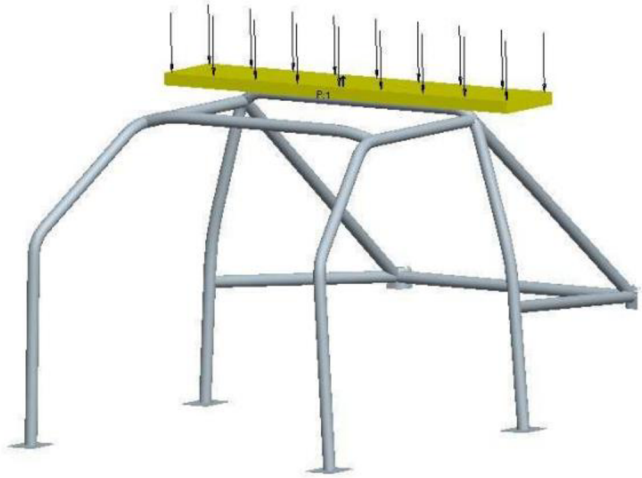
$$7{,}5 \cdot (hmotnost\ vozidla + 150\ kg) \cdot g\ [N], \tag{1}$$

kde g představuje tíhové zatížení [m·s^{-2}].

Tato síla je aplikována po dobu patnácti sekund na vrchní část rámu (obr. 2). Maximální dovolená pružná deformace na bezpečnostním rámu je 50 mm a zároveň nesmí dojít k vytvoření žádných prasklin, či rozpojení svárů [3] [4].

Základní parametry tuhého trnu		
Délka trnu	x_t [mm]	Šířka hlavního oblouku + 100
Šířka trnu	y_t [mm]	250 ± 50
Min. tloušťka trnu	t_t [mm]	40
Poloměr zaoblení trnu	r [mm]	20 ± 5

Tabulka 1: Parametry tuhého trnu při zatížení hlavního oblouku



Obrázek 2: Zatížení hlavního rámu [3]

ZKOUŠKA BOČNÍHO ZATÍŽENÍ RÁMU

V případě zkoušky bočního zatížení rámu tuhý trn působí silou o velikosti:

$$3{,}5 \cdot (hmotnost\ vozidla + 150\ kg) \cdot g\ [N] \tag{2}$$

na svislý sloupek hlavního oblouku (obr. 3). Trn je umístěn ve výšce 550 ± 50 mm nad nejnižším bodem upevnění hlavního oblouku. Stejně tak jako v případě zkoušky zatížení vrchní části rámu i v tomto případě síla působí po dobu patnácti sekund. Při vyhodnocování zkoušky je sledována pružná deformace ve směru zatěžování. Ta nesmí překročit 50 mm [3] [4].

Základní parametry tuhého trnu		
Délka trnu	x_t [mm]	450 ± 50
Šířka trnu	y_t [mm]	250 ± 50
Min. tloušťka trnu	t_t [mm]	40
Poloměr zaoblení trnu	r [mm]	20 ± 5

Tabulka 2: Parametry tuhého trnu při bočním zatížení

Obrázek 3: Boční zatížení hlavního rámu [3]

ZKOUŠKA ZATÍŽENÍ PŘEDNÍHO OBLOUKU

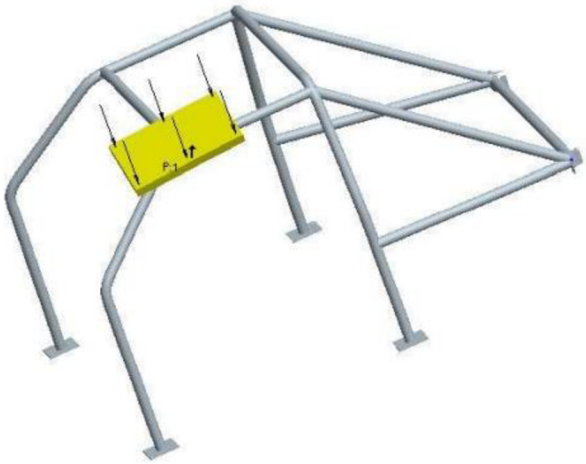
V případě zkoušky zatížení předního oblouku je zatížení prováděno stejnou silou jako v případě bočního zatížení, tedy

$$3{,}5 \cdot (hmotnost\ vozidla + 150\ kg) \cdot g\ [N]. \tag{3}$$

Tuhý trn je umístěn na vrcholu předního oblouku v oblasti, kde dochází ke křížení s přední příčnou vzpěrou (obr. 4) po dobu patnácti sekund. Delší strana trnu musí být orientována ve směru jízdy. Kratší strana je umístěna pod úhlem 25°± 1° vzhledem k horizontální rovině. Maximální povolená elastická deformace při tomto typu zatížení je 100 mm ve směru působení zatěžovací síly [3] [4].

Základní parametry tuhého trnu		
Délka trnu	x_t [mm]	450 ± 50
Šířka trnu	y_t [mm]	250 ± 50
Min. tloušťka trnu	t_t [mm]	40
Poloměr zaoblení trnu	r [mm]	20 ± 5

Tabulka 3: Parametry tuhého trnu při zatížení předního oblouku



Obrázek 4: Zatížení předního rámu [3]

1.2 AKUMULÁTORY A BATERIE

Základním zdrojem energie v elektrické buggy jsou baterie. Ty dodávají energii do elektromotoru, kde dochází k její přeměně na pohyb. Baterie jsou převážně umisťovány v zadní části buggyn. Buď za sedačkou řidiče anebo pod ní. Pro nabití baterie není potřeba celou baterii vyndat, stačí ji připojit pomocí nabíjecího kabelu do elektrické sítě.

Ve většině elektrických vozidel jsou použity gelové baterie. Tyto baterie se řadí do kategorie VRLA neboli Valve Regulated Lead Acid. Jedná se o označení bezúdržbových baterií, které jsou řízeny pomocí ventilu.

1.2.1 GELOVÉ BATERIE

Hlavní výhodou gelových baterií [5] je, že mohou pracovat v jakékoliv poloze, to znamená, že je možné je položit na bok a baterie bude stále fungovat. Další velkou výhodou je, že nedochází k přehřátí. Gel, který se v akumulátoru nachází, vede velmi dobře teplo a je schopný předávat teplo do okolí. Baterie jsou také velmi odolné a snášejí vysoké počty cyklů.

Mezi největší nevýhodu těchto baterií patří nižší nárazový výkon, než který lze naměřit u AGM baterie, které se využívají taktéž v automobilové průmyslu. Gelové baterie bývají také při stejné velikosti těžší než jiné baterie. Hlavním důvodem je nižší měrná hustota energie. Další nevýhodou je jejich citlivost na přebíjení. K jejich nabíjení slouží speciální typ nabíječky.

Gelová baterie je tvořena plastovým boxem opatřeným ventilem [6], který slouží k vypouštění malého množství plynu, který vzniká při chemických reakcích uvnitř baterie. V plastovém boxu se v sestavách nacházejí kladné a záporné mřížky oddělené separátory. Mezi mřížkami se nachází gel, který v sobě obsahuje elektrolyt. Elektrolyt je látka, která umožňuje vedení elektrického proudu mezi jednotlivými mřížkami.

Gel je tvořen kyselinou sírovou H_2SO_4 a jemným křemičitým práškem SiO_2. Prášek je důvodem gelové konzistence. Velikost napětí baterie záleží na množství článků. Většinou bývá napětí na jednom článku rovno přibližně 3 V. Pokud je tedy potřeba 12 V baterie, musí obsahovat čtyři články.

1.2.2 AGM BATERIE

Gelové baterie bývají často zaměňovány s AGM bateriemi, Absorbed Glass Mat [7]. Baterie jsou však odlišné uložením elektrolytu. Zatímco u gelových je elektrolyt součástí gelu u AGM baterií je nasáknutý do tkaniny ze skelných vláken.

Mezi výhody těchto baterií patří především jejich dlouhá životnost. Stejně tak jako gelové baterie je možné je uchovávat v jakékoli poloze. Dokážou snést vyšší startovací proudy a jsou schopné dobře odolávat cyklickému zatížení. To je také důvod, proč jsou využívány ve stop-start systémech. Na druhou stranu jsou velice drahé.

1.2.3 LI-ON AKUMULÁTORY

Alternativní řešení pro ukládání energie představují lithium – iontové akumulátory. Představují jednu z nejpopulárnějších forem skladování energie. Skládají se z kovového lithia, který představuje kladnou elektrodu [8]. Do této elektrody se ukládají lithiové ionty. Záporná elektroda je tvořena uhlíkem. Mezi Elektrodami se nachází elektrolyt tvořený ze solí lithia rozpuštěných v organických uhličitanech.

Li-on pracují prostřednictvím přenosu lithiových iontů, a to ve dvou fázích. Při nabíjení se přenáší lithiové ionty z kladné na zápornou elektrodu. Při vybíjení probíhá proces obráceně.

Jednou z výhod těchto akumulátorů je, že není potřeba sledovat jejich teplotu k zajištění efektivního provozu. Hlavní výhodou je pak dostupnost, spolehlivost a vysoká hustota energie. Velkou nevýhodou je však jejich cena.

1.2.4 NI-CD AKUMULÁTORY

Kromě bateriových článků založených na chemických prvcích, jako je olovo či lithium, existují také akumulátory na bázi kadmia. Kadmium je jedním z materiálů, kterých ubývá, a proto existuje snaha tento prvek z použitých baterií opět využít. Ni-Cd akumulátory dosahují 40 – 60 $Whkg^{-1}$ [9] a vysoké účinnosti nabíjení a vybíjení.

Nikl – kadmiové dobíjecí akumulátory obsahují oxidohydroxid niklu jako katodu a kovové kadmium jako anodu. Tyto baterie je možné získat v mnoha provedeních. Nejběžnější jsou odvětrávané a utěsněné typy. Mezi výhody patří dlouhá životnost baterie, větší počet cyklů, vysoká hustota energie, kompaktnost a velký teplotní rozsah. Hlavní nevýhodou je takzvaný paměťový efekt, který vzniká nesprávným nabíjením a také přítomností toxického kadmia. [10]

1.2.5 DŮLEŽITÉ POZNATKY

Při výběru akumulátorů, které budou pohánět navrhovanou buggy je nutné brát ohled na cenu, výdrž baterie a uložení baterií. Výhodou VRLA a AGM baterií je možnost uložení v jakékoliv poloze. Pro samotný návrh buggy to znamená možnost ušetření prostoru. Tyto baterie se však neprodávají ve formě jednotlivých článků.

Li-on a Ni-Cd akumulátory je možné koupit jako jednotlivé články jejichž napětí se pohybuje kolem 3 V. Při zapojení baterií do série je pak možné získat napětí, které je potřeba pro pohon elektromotoru. Navíc mají vysokou životnost a jsou schopné pracovat po velký počet cyklů. Všechny typy uvedených baterií jsou však velice drahé.

1.3 ELEKTROMOTOR

V případě elektricky poháněných autíček je energie na kola dodávána pomocí elektromotoru. Elektromotor bývá umístěn na poháněné nápravě. Pokud se jedná o autíčka s pohonem 4x4 jsou elektromotory u každého kola. Zajišťují tak větší stabilitu při řízení a jedná se o nejlepší rozložení sil při jízdě v terénu. Možnost umístění elektromotoru přímo ke kolu vozidla je jedna z největších výhod. Mezi další výhody těchto motorů patří tichý chod a provoz bez emisí.

Elektromotory bývají rozdělovány podle dodávaného elektrického proudu na stejnosměrné motory a motory na střídavý proud, kde každý z motorů má své výhody a nevýhody.

Základem elektromotoru [11] jsou vždy dvě části. Rotor, který, jak už jeho jméno napovídá, vykonává rotační pohyb, a stator, který svou polohu nemění. Mezi rotorem a statorem je vždy vzduchová mezera. Ta umožňuje rotoru se otáčet. Jak rotorem, tak statorem, prochází elektrický proud i proud magnetický.

Další částí elektromotoru je jádro. To odvádí magnetický tok. Do jádra vedou vodiče. Pokud vodiči prochází proud, vytváří se v jádru magnetické pole a stator s rotorem se stávají elektromagnety. Jádro může být tvořeno feromagnetickým kovem, nebo pomocí permanentního magnetu.

Principiálně dochází k vytváření dvou magnetických polí v rámci jednoho elektromotoru. Jeden je vytvářen na statoru, druhý na rotoru. Síla, která se při interakci těchto dvou magnetických polí vytváří, způsobuje zvyšování točivého momentu. Tento točivý moment působí na rotor a způsobuje jeho otáčení. Velmi důležitá je konstantní produkce točivého momentu.

1.3.1 DC MOTORY

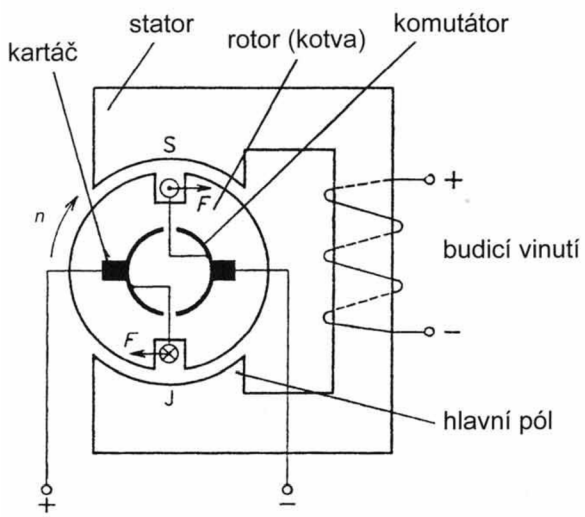
DC motor neboli stejnosměrný motor (obr. 5), využívá k otáčení rotoru sílu produkovanou vodiči. Vodiče se nachází v magnetickém poli, které bylo vytvořeno na statoru. Elektromotor funguje na principu vzájemného ovlivňování dvou magnetických polí. U stejnosměrného motoru je jedno z polí stacionární, většinou vytvořené pomocí magnetů, nebo vinutí na statoru.

Druhé pole je rotační pole vytvořené pomocí vodičů, které jsou součástí rotoru. Vůči rotoru je toto magnetické pole ve stacionární poloze. Důvodem nehybnosti pole jsou hřebeny a komutátory, které jsou součástí DC motoru. Ty slouží k distribuci proudu do vodičů rotoru tak, aby byl proud vždy stejný nezávisle na otáčení rotoru.

Kvůli otáčení jednoho z magnetických polí dochází k vzájemnému ovlivnění. Tím vzniká točivý moment působící na rotor a roztáčí jej.

Hlavní výhodou DC motorů je jejich jednoduchost [12]. Umožňují velmi dobře ovládat rychlost a velikost točivého momentu. Rychlost stejnosměrného motoru závisí totiž na napětí, které se v motoru nachází. Velikost točivého momentu je pak závislá na proudu. Komutátor u DC motoru může být také využit jako robustní střídač. Díky tomu může být využit jako trakční motor.

Nevýhodou tohoto typu motoru je nutnost pravidelné údržby hřebenů a komutátorů. Existuje však i verze stejnosměrného motoru, který není opatřen hřebeny.



Obrázek 5: Principiální schéma DC motoru [50]

Bezkartáčové DC motory jsou koncepčně výsledkem reverzního statoru a rotoru stejnosměrných motorů s permanentními magnety. Napájení přivádí proud v podobě obdélníkových vln nikoli sinusových. Hlavní výhodou těchto motorů je samozřejmě samotné odstranění kartáčů, které umožňuje menší údržbu. Dále jejich kompaktnost, vysoká účinnost a vysoká hustota energie.

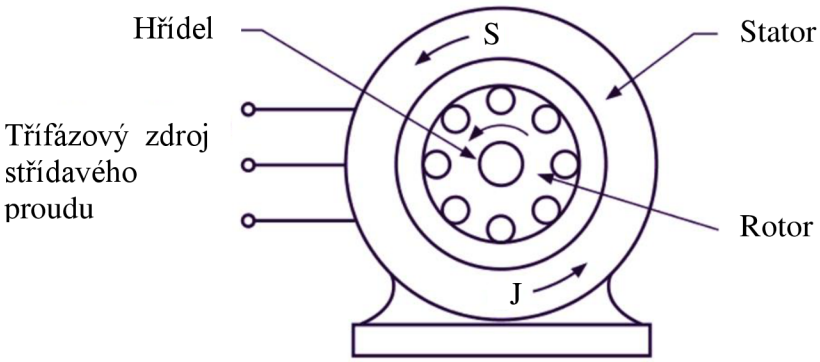
1.3.2 AC MOTORY

AC motor [11] neboli motor na střídavý proud (obr. 6), na rozdíl od DC motoru, využívá dvou rotujících magnetických polí. Pole vždy rotují stejnou rychlostí. Lze tedy říci, že jsou vůči sobě v relativním klidu. Navzájem jsou, ale vůči sobě pootočeny o určitý úhel. Díky tomu vzniká síla, která napomáhá k roztáčení motoru.

Na jednotlivá vinutí statoru je postupně přiváděn proud. Tím vznikají tři fáze tohoto proudu a zároveň dochází k vytvoření rotujícího magnetického pole.

Při tvorbě točivého magnetického pole na rotoru je nutné rozlišovat synchronní a asynchronní AC motor. Synchronní motor vytváří magnetické pole pomocí permanentního magnetu, nebo pomocí pole vinutí, které je napájené stejnosměrným zdrojem napětí. Tento zdroj napětí musí být oddělen od zdroje střídavého napětí statoru. Při tomto uspořádání je magnetické pole rotoru vůči rotoru bráno jako stacionární. Aby vznikl točivý moment, musí se magnetické pole rotoru otáčet stejnou rychlostí jako pole statoru.

V případě asynchronního motoru je pole rotoru vytvářeno pomocí zdroje střídavého napětí. Díky elektromagnetické indukci je v rotoru vytvářen indukovaný proud. Magnetické pole rotoru se otáčí relativně vůči rotoru. K vytvoření točivého momentu v elektromotoru je potřeba, aby se magnetické pole rotoru i statoru otáčela stejně rychle. V tomto případě to znamená, že rotor se bude otáčet s jinými otáčkami než pole samotné. Aby bylo možné využít elektromagnetické indukce, je nutné, aby se rotor otáčel vždy o trochu pomaleji, než je synchronní rychlost.



Obrázek 6: Principiální schéma AC motoru [51]

Asynchronní motory [12] patří mezi jedny z nejvyspělejších typů elektromotorů na střídavý proud. Jejich rozsah otáček je možné ovlivnit pomocí oslabení magnetického toku v oblasti s konstantním výkonem. Točivý moment a magnetické pole je u tohoto typu motoru možné řídit vektorovou řídící metodou.

AC motory mají vyšší hustotu výkonu, účinné rekuperační brždění, spolehlivost a hlavně menší požadavky na údržbu. To jsou hlavní důvody, proč jsou v dnešní době více používány. Na druhou stranu průrazový točivý moment se nachází v oblasti s konstantním výkonem. Mají také sníženou účinnost a zvýšené ztráty při vysokých rychlostech. Jedním z možných řešení těchto problémů je použití duálních střídačů k rozšíření oblasti konstantního výkonu nebo použití dvojitých motorů, které mají vynikající výkon při nízkých rychlostech a snižují ztráty vinutí rotoru ve fázi návratu.

Konkurenci pro asynchronní motory při trakčním využití představují motory s permanentním magnetem. Mají proti nim vyšší hustotu výkonu, účinnost a efektivnější distribuci tepla do okolí. Velkou nevýhodou je úzká oblast konstantního výkonu. Mohou být navíc demagnetizovány v reakci na teplo nebo díky kotvě.

1.3.3 ELEKTROMOTOR PRO NÁVRH BUGGY

Jako pohon elektrických vozidel určených pro děti se využívá převážně bezkartáčových motorů s permanentním magnetem. Vzhledem k tomu, že tento motor má vyšší účinnost, efektivní distribuci tepla do okolí a je v podstatě bezúdržbový jedná se o jedno z nejlepších možných řešení pro pohon elektrické buggy.

1.4 TECHNICKÁ PRAVIDLA

Čistě závodní buggy musí dodržovat přísná technická pravidla FIA. Tato pravidla závisí i na divizi, ve které se závodník účastní. Divize [1] 160 ccm umožňuje účast už od pěti do osmi let, přičemž v buggy jsou nainstalovány sériové motory bez převodovky. Následuje divize 125 ccm od šesti do dvanácti let, divize 250 ccm od devíti do čtrnácti let a Junior Buggy je divize pro osoby od dvanácti do jednadvaceti let. Od šestnácti let je možné se účastnit závodu Buggy 1600, SuperBuggy a TouringAutocross – závod s upravenými cestovními vozy.

Divize RB160 ccm, RB125 ccm a Divize RB250 ccm se jsou hromadně označovány jako Racer Buggy. Na vozidla těchto závodníků se vztahují hlavně národní technické předpisy. V případě RB160 se většina technických parametrů odkazuje na HAVEL buggy. Následující kapitoly jsou převzaty ze Sportovních předpisů [13].

1.4.1 ZÁKLADNÍ PARAMETRY RB125 A RB250

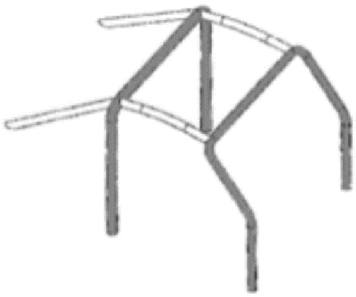
Základními parametry vozidla se myslí váha a rozměry vozidla. Minimální povolená hmotnost vozidla určeného pro RB125 je 150 kg a hmotnost pro RB250 je 180 kg. Hmotnost je měřena bez řidiče a jeho výbavy a bez paliva. V případě potřeby je možné hmotnost buggy dorovnat. K tomu je možné použít pouze pevné, jednolité bloky, které jsou pevně spojeny s podvozkem nebo podlahou.

Šířka vozidla je daná maximální hodnotou u RB125 1300 mm a u RB250 1500 mm. Materiál, který je použit ke spojování komponent, stejně tak díly zavěšení kol i veškeré kompozitní materiály, nesmí být z titanu. Jako spojovací materiál je možné použít ocel.

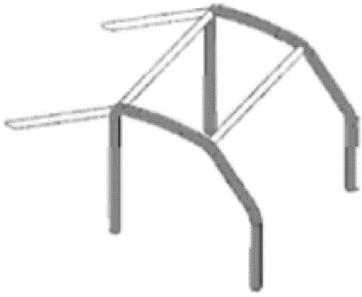
1.4.2 BEZPEČNOSTNÍ VÝBAVA

Mezi základní bezpečnostní výbavu patří ochranná konstrukce. Konstrukce nesmí bránit, jak v nastupování, tak vystupování z vozu. Vzpěry konstrukce musí být vyrobeny tak, aby nezasahovaly do prostoru vyhrazeného pro jezdce, nebo procházet přístrojovou deskou.

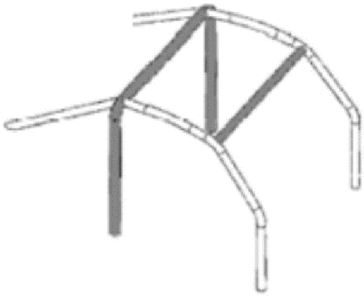
Povoleny jsou tři základní koncepce. Varianta A (obr. 8) se skládá z hlavního oblouku, předního oblouku, dvou podélných vzpěr a dvou zadních vzpěr. Varianta B (obr. 7) je tvořena dvěma bočními oblouky, dvěma příčnými vzpěrami a dvěma zadními vzpěrami. Varianta C (obr. 9) je vyrobena z hlavního oblouku, dvou bočních půloblouků, jednou příčnou vzpěrou a dvěma zadními vzpěrami.



Obrázek 8: Varianta A základní koncepce [3]



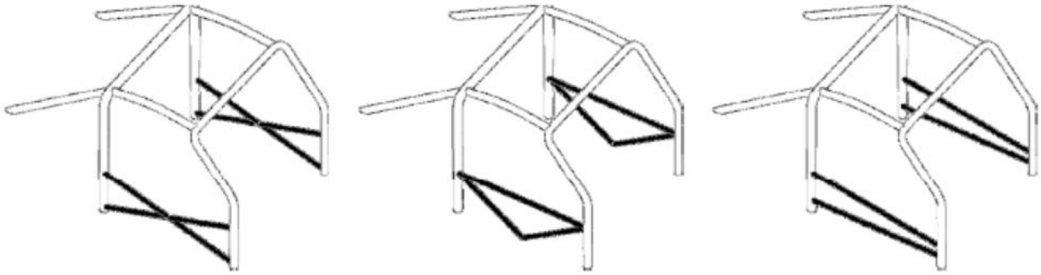
Obrázek 7: Varianta B základní koncepce [3]



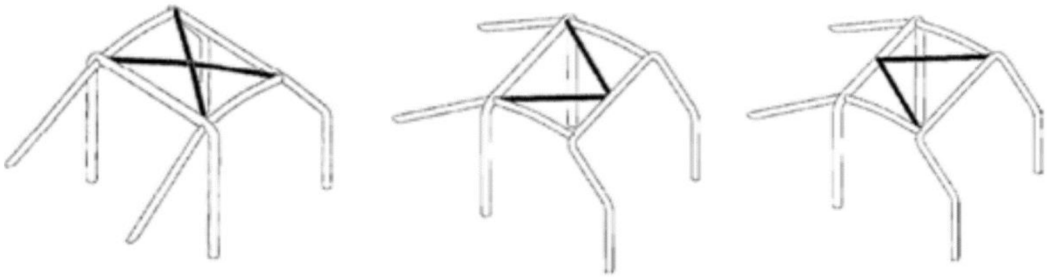
Obrázek 9: Varianta C základní koncepce [3]

Povolené rozměry předního, podélné oblouku a zadní vzpěry jsou 30 x 2 mm. U RB125 jsou rozměry hlavního oblouku 30 x 2 mm a u buggy pro RB250 jsou rozměry hlavního oblouku 40 x 2 mm. Hlavní oblouk musí být vždy opatřen diagonálou nebo křížem, a to z důvodu zvýšení pevnosti. Rozměry diagonální trubky jsou požadovány 20 x 1,5 mm.

Mezi další prvky, které mají chránit jezdce, patří spodní podélné výztuhy (obr. 11), středové podélné výztuhy, přední příčná vodorovná výztuha a zadní příčná vodorovná výztuha. Z důvodu bezpečnosti při překlopení buggy je požadováno, aby přímka vedená mezi vrcholy dvou hlavních oblouků byla alespoň 5 cm nad přilbou řidiče (obr. 10).



Obrázek 11: Příklad podélných výztuh [3]



Obrázek 10: Příklad střešních výztuh [3]

Velmi důležitým ochranným prvkem jsou bezpečnostní pásy. Povinné je pětibodové provedení pásů bez překřížení. Musí být opatřeny jednotným pákovým rozpínacím mechanismem. K upevnění pásů je doporučeno použít vevařeného závitového pouzdra do trubky zkombinovaného s okem se závitovým prodloužením. Další možností je využití opásání trubky bezpečnostním pásem zakončeným sponou. Daná trubka musí být součástí ochranné konstrukce. Ramenní pásy musí mít vlastní upevňovací bod.

Pevně spojeno s konstrukcí vozu musí být i sedadlo jezdce. To je provedeno buď přímo, nebo pomocí pevných držáků minimálně ve čtyřech pevných bodech. Sedák sedačky je přichycen ke spodní výztuze minimálně dvěma úchyty. Tato výztuha je součástí konstrukce buggy a tvoří její pevnou součást.

Povinou součástí sedačky je opěrka, která musí být umístěna v dostatečné výšce. Přilba jezdce má maximální vzdálenost od opěrky 5 cm. Připevnění sedačky v úrovni opěradla musí být provedeno pomocí ocelových rozpěrných trubek. Trubky jsou ke konstrukci vozu přivařeny, nebo připevněny pomocí šroubů.

Prostor, který je vymezen pro jezdce, nesmí být narušen žádnými nadbytečnými díly. Může obsahovat pouze díly, které jsou potřebné k ovládání nebo řízení vozidla. Zároveň se v tomto prostoru nesmí nacházet nic, co by vedlo k ohrožení řidiče.

Otvory určené k nastupování a vystupování z vozu musí být celé možno uzavřít. K uzavření je nutné použít takzvanou boční mříž. Vodorovné panty zajišťují mříž na horní části konstrukce. Panty by měly být alespoň dva. V dolní části musí být boční mříž možno rychle uvolnit. To zajišťuje uzávěr, který se dá ovládat, jak zvenku, tak zevnitř. Boční mříž je možné otevírat také směrem vpřed. Při tomto způsobu otevírání jsou panty umístěny téměř svisle na předním

oblouku, uzávěry pak vodorovně. V čelním průhledu je na pevno umístěna přední mříž. Mříž slouží hlavně k zabránění vypadnutí jezdce z vozidla.

K boční ochranně buggy je vyžadováno vyztužení boků. Vyztužení je provedeno propojením podélných spojnic hlavního a předního oblouku křížem, popřípadě diagonálou nebo lomenou výztuhou.

Mezi ochranné prvky se také řadí boční trubková ochrana neboli „odražeč“. Odražeč je vyroben z ocelové trubky o rozměru 20 x 1,5 mm. Konstrukce trubky je řešena tak, aby při nárazu nedošlo k tomu, že by trubka pronikla do prostoru jezdce. Odražeč by měl splňovat tři základní požadavky:

- Výška by neměla být nižší, než je úroveň středů kol.
- Délka vnější části musí být rovna alespoň 60 % rozvoru.
- Vyložení může být provedeno maximálně ke svislé rovině, proložené vnějším krajem předního a zadního kola.

V žádném případě nesmí dojít k tomu, že by se kolo dostalo do prostoru odražeče. Z tohoto důvodu musí být prostor mezi odražečem a karoserií zakryt.

1.4.3 KAROSERIE

Karoserii tvoří vnější krytování, blatníky a podlaha. Nesmí se na ní objevovat žádné ostré hrany a nikdy nelze použít provizorní řešení. V předu a na bocích je použito krytování, které je neprůhledné a vyrobeno z pevného materiálu. V přední části slouží krytování i jako ochrana před průniky kamenů do prostoru jezdce, proto musí dosahovat minimálně do středu volantu. Zároveň však nesmí omezovat výhled z vozidla.

Na vnější krytování je doporučeno využít kompozitních materiálů, které obsahují kevralové nebo karbonové vlákno. V případě použití skelného vlákna se doporučuje užití vnější vrstvy z tkaného vlákna. Při srážce a následné deformaci krytování se nesmí vytvořit ostré hrany.

Blatníky jsou povoleny pouze plastové. Zároveň musí být pevně spojeny s konstrukcí vozu. Od blatníku je požadováno, aby alespoň z jedné třetiny zakrývaly celou šířku kola. Na hnané nápravě je pak nutné zakrýt celé kolo při pohledu shora. Končit by měly minimálně 50 mm pod osou kola.

U hnacích kol je povinná zástěrka vyrobená z 3 mm pružného plastu. Zástěrka zakrývá celou šířku kola a končí maximálně 50 mm nad zemí.

1.4.4 SHRNUTÍ POZNATKŮ PRO NÁVRH BUGGY

Navrhovaná buggy nebude určena přímo na závody, z tohoto důvodu nebudou dodržena veškerá pravidla, která jsou dána normami FIA. Z technických požadavků se bude pouze vycházet.

Konstrukce buggy bude vycházet z jedné ze tří možných koncepcí, to znamená, že bude tvořena hlavním obloukem a následně bude rozhodnuto, jestli bude použito předního oblouku, nebo bočních oblouků. Celá konstrukce bude vyztužena vzpěrami. Bude dodržena minimální vzdálenost mezi helmou řidiče a střechou vozidla, která činní 5 cm. Sedadlo řidiče bude pevně spojeno s konstrukcí rámu, a to včetně opěrky hlavy. Součástí sedačky budou také pětibodové pásy. Rám buggy musí projít přes homologační zkoušku danou normou FIA.

Vzhledem k tomu, že se nejedná o závodní buggy, není potřeba zakrývat nastupovací otvor a přední otvor sítí, či mříží. V případě potřeby je možné tento prvek přidat, ale pro tento návrh není podstatný.

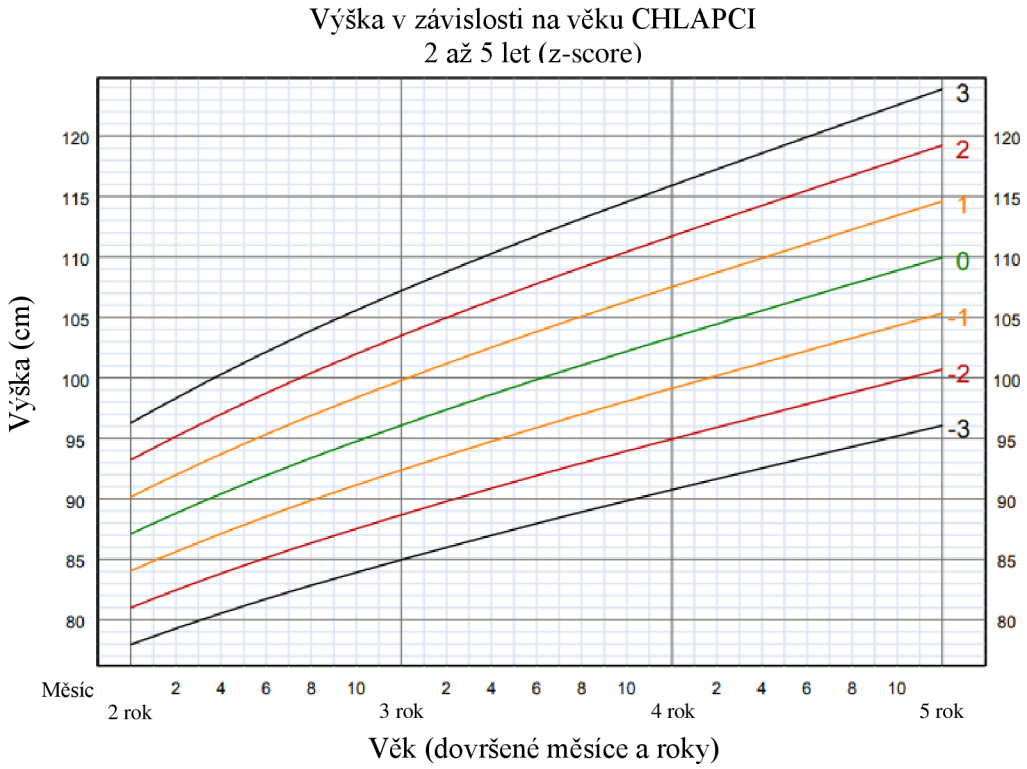
Výbavou buggy bude podlaha a částečné vnější krytování. Krytování bude využito spíše jako designový prvek. Z tohoto důvodu nebude použito po celé konstrukci, ale pouze na některé části. Jako způsob zakrytí částí buggy je možné použít provazové sítě.

1.5 RŮST DÍTĚTE

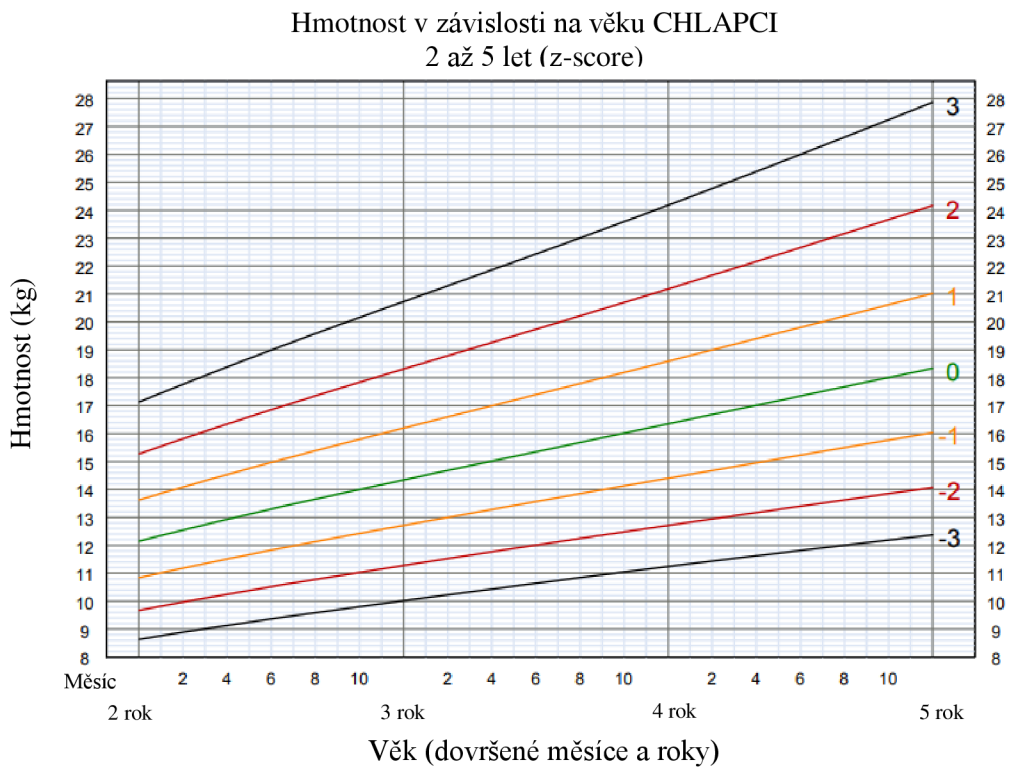
Pro praktickou část práce jsou důležité celkové rozměry dítěte. Jedním z nejdůležitějších pak výška, na které závisí rozměry vozidla a komponent. Při návrhu bude také důležitý rozdíl výšky u dětí mezi třemi a sedmi lety.

Optimální výškou a váhou se zabývá mnoho organizací, mezi jednu z nejdůležitějších pak patří WHO. Tato organizace vydala roku 2006 normu Child Growth Standards for children. Universita Cambridge poté vytvořila studii zabývající se využitelností dokumentu v jednotlivých zemích [14].

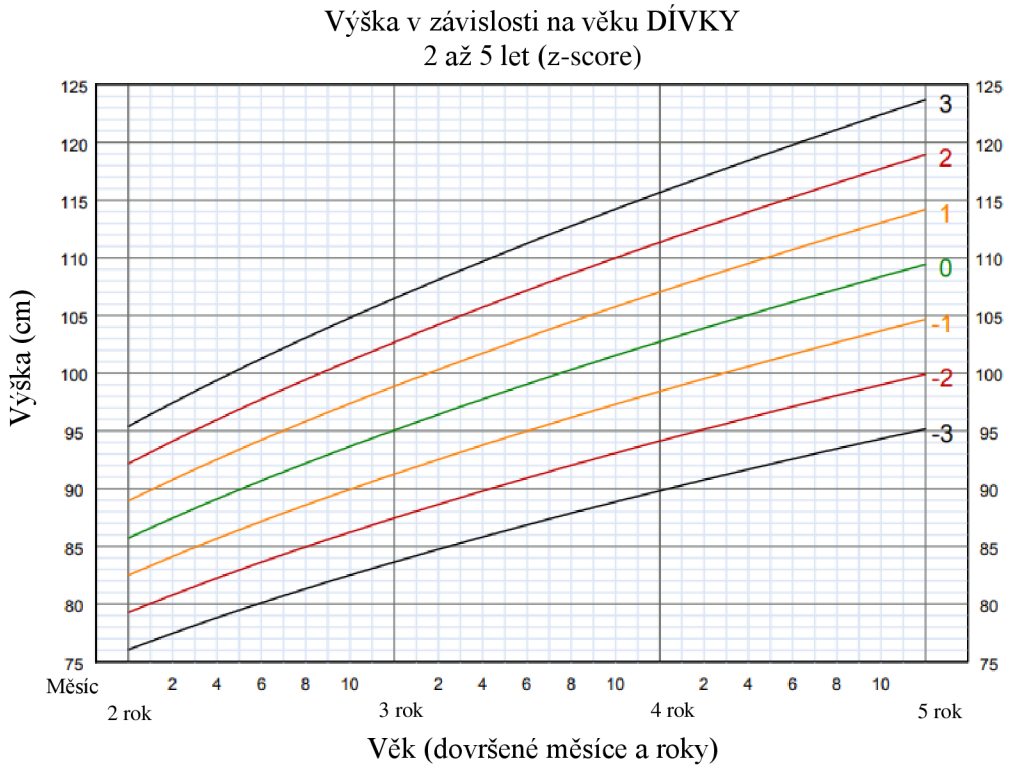
Sledování správného růstového vývoje je zejména důležité kvůli zdraví dětí. Včasné odhalení jakýchkoliv odchylek ve vývinu může zabránit následným zdravotním problémům. Právě odhalení odchylek ve vývinu bylo hlavním důvodem, proč většina zemí přijala normy WHO. Normy byly rozděleny do jednotlivých kategorií na základě určitých sledovaných parametrů. Velkým pokrokem bylo rozdělení grafů vývinu pro dívky a chlapce do pěti let. Na základě norem státy upravily své dosavadní zdravotní záznamy dětí, což vedlo k aspoň částečnému sjednocení.



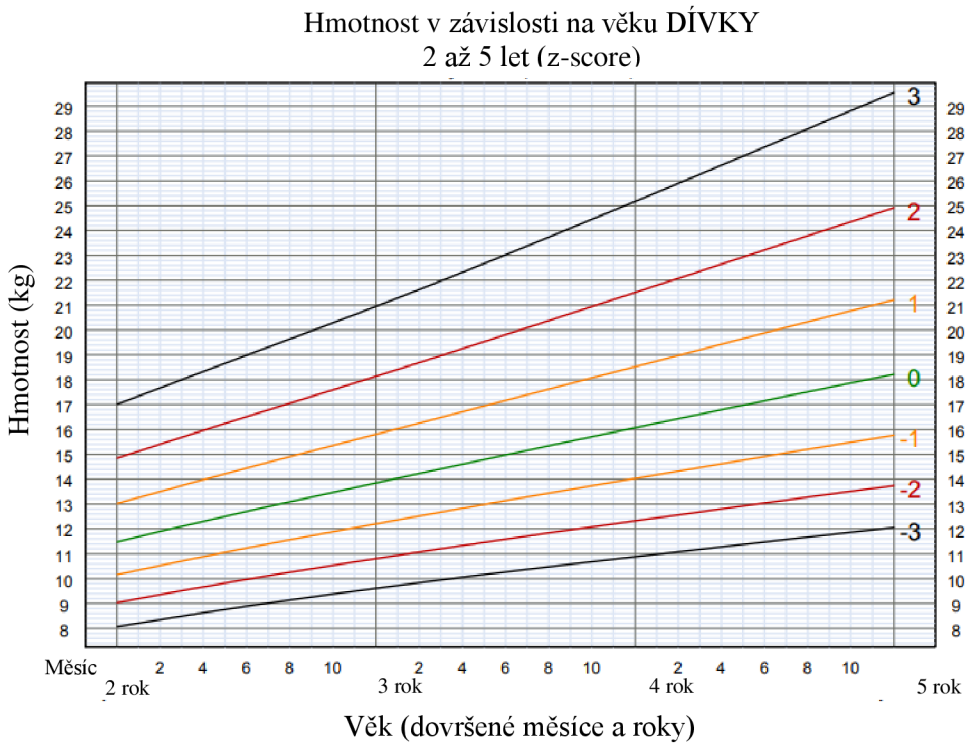
Graf 1 : Závislost výšky na věku u chlapců do 5 let [52]



Graf 2: Závislost váhy na věku u chlapců do 5 let [52]

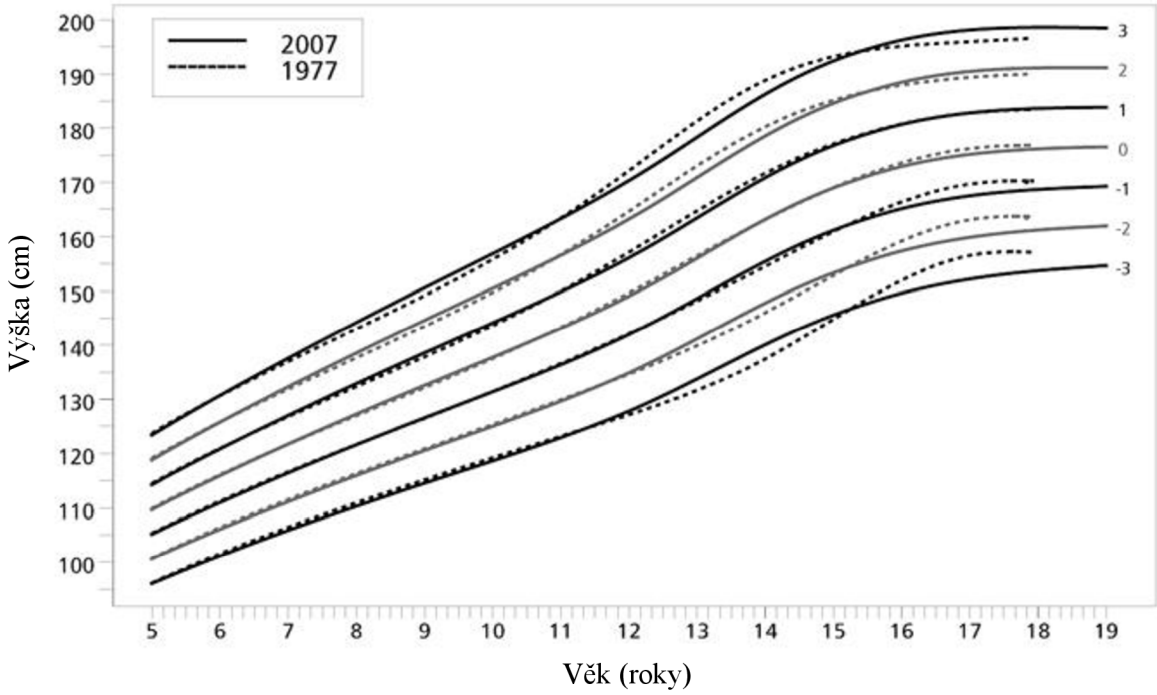


Graf 3: Závislost výšky na věku u dívek do 5 let [53]

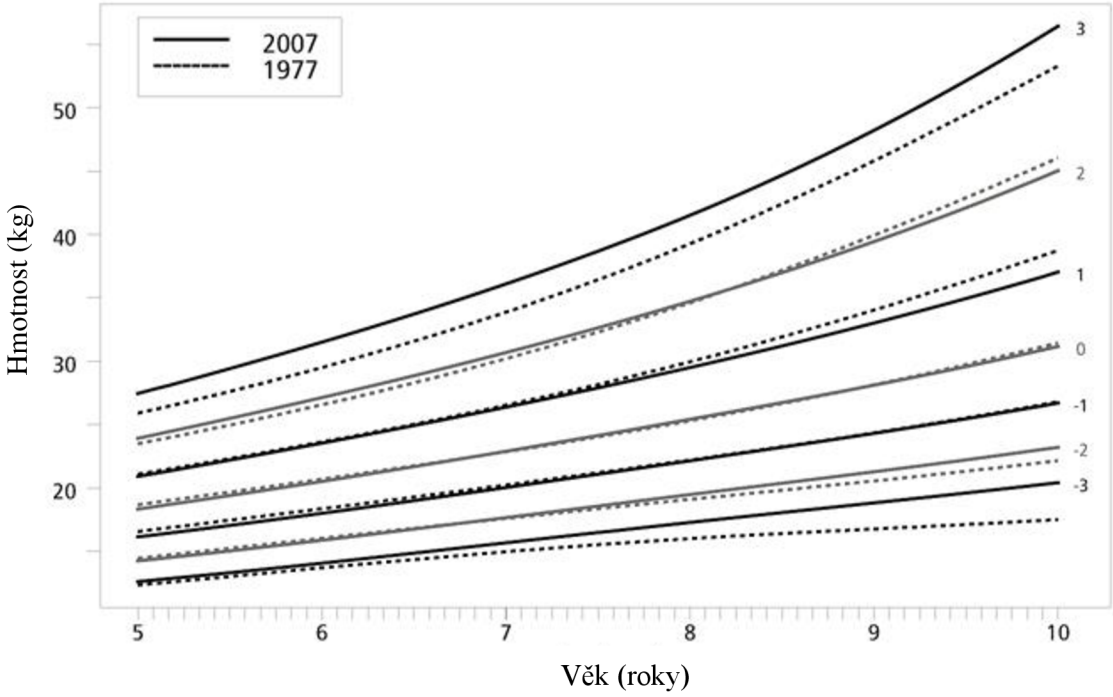


Graf 4: Závislost váhy na věku u chlapců do 5 let [53]

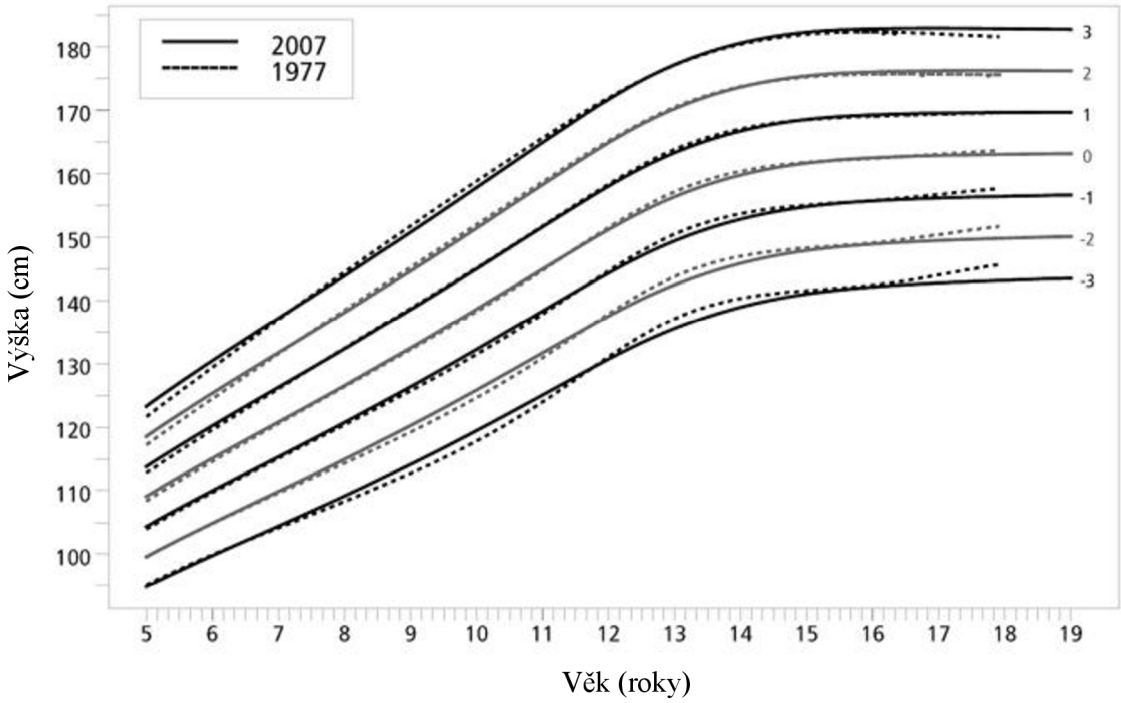
Růstové křivky pro děti starší pěti let a dospívající vznikly na základě standardů WHO pro děti předškolního věku a mezními hodnotami indexu tělesné hmotnosti BMI pro dospělé [15]. Tyto křivky doplňují mezeru v růstových křivkách. Zároveň poskytují vhodnou referenci pro věkovou skupinu mezi pěti a dvanácti lety. Největším rozdílem od původních tabulek vyšel v grafu Výšky v závislosti na věku u chlapců, a to hlavně v oblasti mezi patnáctým a osmnáctým rokem. V oblasti kolem pátého roku je rozdíl mezi hodnotami zanedbatelný.



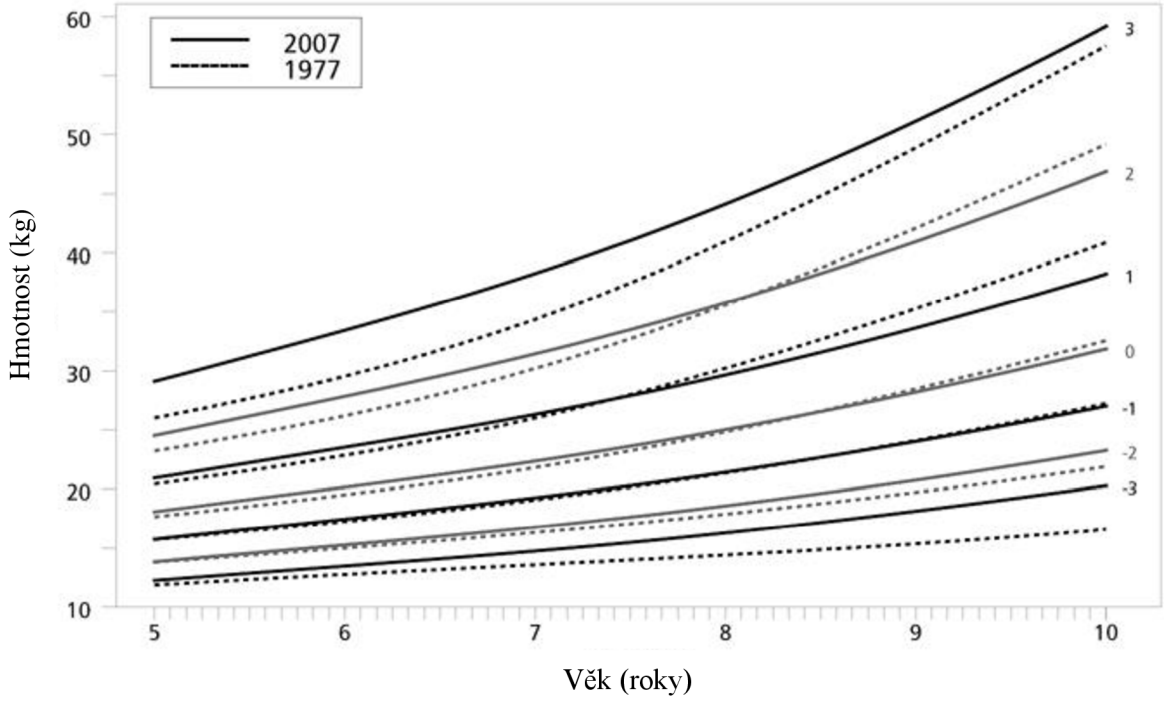
Graf 5: Závislost výšky na věku u chlapců do 19 let [15]



Graf 6: Závislost váhy na věku u chlapců do 10 let [15]



Graf 7: Závislost výšky na věku u dívek do 19 let [15]



Graf 8: Závislost váhy na věku u dívek do 10 let [15]

Normy WHO však neberou v úvahu genetické predispozice a další důležité faktory [16]. Mezi parametry růstu patří výška i hmotnost. Oba tyto parametry určitou měrou ovlivňuje genetika. Dědičné je například načasování a tempo puberty. Aby bylo možné vytvořit jednotný mezinárodní standard růstu, je nutné zohlednit průměrný růst a normální variace růstu skrz populace. Standart růstu, který je aplikován na děti a dospívající by měl být vytvořen se zvážením celkové populace a individuálních výběrových kritérií, návrhu studie, velikosti vzorku, měření a statického modelování primárního růstu a sekundárních pomocných údajů.

Kromě norem WHO existují také normy CDC 2000 growth charts [17]. Norma CDC se zabývá růstem dětí od narození po dosažení věku dvaceti let. Normy WHO jsou určeny pouze pro děti od narození do dovršení pátého roku života. Vzhledem k tomu, že standardy WHO sledují růst zdravých kojených dětí s vysoce kvalitní doplňkovou stravou slouží jako lepší nástroj pro sledování růstu kojených dětí než grafy růstu CDC 2000.

1.5.1 POŽADAVKY NA ROZMĚRY BUGGY

Děti od tří do sedmi let se odlišují jak svou hmotností, tak výškou. Proto se při návrhu buggy musí počítat s přizpůsobením pro rozdílné výšky. Pro samotný návrh to znamená, že řidiči musí být umožněno přisunout se blíže k volantu a pedálům, nebo pedály a volant bude možné přiblížit k řidiči.

Mezi střechou vozidla a hlavou řidiče musí být dodržen rozestup minimálně 5 cm, aby při přetočení vozidla nedošlo k ublížení dítěti. Sedačka musí mít za hlavou řidiče opěrnou část.

Hmotnost řidiče má vliv jak na homologační zkoušky, tak na rychlost, kterou je vozidlo možné jet. Proto bude pro výpočty brána hmotnost větší, než je průměrná hmotnost dítěte v 7 letech. Použití vyšší hmotnosti zaručí větší bezpečnost rámu.

1.6 PŘEHLED TERÉNNÍCH VOZÍTEK PRO DĚTI

Většina výrobců vozítek pro děti se snaží designem přiblížit automobilům, jako jsou Mercedes, Audi, BMW. Takováto vozítka jsou určena do hračkářství nebo větších supermarketů. Jedním z větších dodavatelů těchto typů autíček je MAMIDO. Jedná se o českou značku, která se díky mnohaletým zkušenostem na trhu, stala specialistou v oboru elektrických vozítek [18].

Autíčko typu buggy je velmi těžké najít v elektrické verzi. Většina z nich je vybavena spalovacím motorem, nikoliv elektromotorem. Vozidlo je samozřejmě vybaveno pevnostním rámem, který většinou vede i nad hlavou řidiče. Dost časté bývá i lichoběžníkové, či trojúhelníkové zavěšení.

Předním českým výrobcem těchto buggy je HAVEL s.r.o. Firma byla založena v roce 1988 [19] Milanem Havlem. Za roky své existence tato firma vyrobila přes 1 500 buggy. Velkou pozornost upírají na kvalitu, techniku a design. Tyto tři aspekty jsou posuzovány zkouškami, mezi které patří také bariérová zkouška v ÚVMV Praha a TÜV Automotive v Německu.

Výrobcem elektrických buggy je společnost HECHT MOTORS, s.r.o. [20]. Společnost je předním distributorem zahradní techniky v České a Slovenské republice. Tato firma vidí budoucnost ve vývoji akumulátorových strojů. Z tohoto důvodu se věnuje vývoji elektrokol, čtyřkolek nebo skútrů, které jezdí na elektrickou energii.

1.6.1 MAMIDO A JINÁ OBCHODNÍ AUTÍČKA

Základem autíček, které můžete najít v obchodech, je silný plast. Tento plast tvoří karoserii a jedná se o jeden z bezpečnostních prvků, který má zabránit vážným poraněním dítěte.

Základním zdrojem energie autíčka je baterie, většinou se jedná o gelovou baterii. Baterie bývá za sedadlem řidiče, popřípadě pod přední kapotou. Autíčka jsou vyráběna s pohonem na zadní nápravě, nebo ve verzi 4x4, kdy se na každém kole nachází jeden elektromotor. Výhodou takovéto pohonu je lepší pohyb právě v terénu, kdy nabízí lepší stabilitu.

Převodovka, u těchto elektrických autíček do terénu, má pouze tři rychlosti. Dvě rychlosti dopředu a jednu dozadu. Vzhledem k tomu, že autíčka jsou určena pro děti od tří let je toto dostačující. Navíc většina autíček nejezdí více jak 8 $km \cdot h^{-1}$.

Pozvolný start vozítka je velmi výhodná vlastnost hlavně pokud je určeno pro malé děti. Při rychlejším rozjezdu by se dítě mohlo polekat nebo si ublížit.

Podvozek je tvořen dvěma tuhými nápravami spojenými s karoserií. V některých případech je možné nalézt funkční pružiny a tlumiče, které jsou propojeny přímo s karoserií. K odpružení slouží také kola, která jsou vyrobena z měkkého pěnového plastu zvaného EVA.

Autíčka musí být vybavena bezpečnostními prvky, a to na základě norem a předpisů z Evropské unie. Hlavním bezpečnostním prvkem jsou bezpečnostní pásy, které jsou převážně dvou bodové. Většina vozítek má v základní výbavě i dálkové ovládání, kterým mohou rodiče autíčko ovládat.

BUGGY SUPER STAR 4X4

Toto autíčko (obr. 12) se řadí do skupiny buggy. Poháněné je čtyřmi elektromotory [21], každý o výkonu 45 W. Energie je poskytována dvěma 12 V bateriemi.

Bezpečnost dítěte při překlopení vozidla by měla být zaručena pomocí plastového rámu, který vede za hlavou dítěte a v přední části auta, kde vytváří rám předního okna.

Součástí výbavy je i dálkové ovládání o 2,4 GHz a hudební panel, který umožňuje poslouchat rádio nebo vlastní skladby. Jedná se o prvek, který má posloužit k zabavení dítěte.

Základní parametry			
Hmotnost		m [kg]	31
Rozměry	Délka	x [mm]	1 200
	Šířka	y [mm]	800
	Výška	z [mm]	710
Max. rychlost		v [km·h^{-1}]	3-5
Baterie	Napětí	U [V]	2 x 12
	Kapacita	I [Ah]	7
Výkon motoru		P [W]	4 x 45
Doba jízdy		t [h]	1,5
Doba nabíjení		t_n [h]	10
Cena		[Kč]	9 989,- (26.04.2023)

Tabulka 4: Základní parametry Buggy SuperStar 4x4

Obrázek 12: Buggy SuperStar 4x4 [21]

BUGGY TURBO 24 V

Byggy Turbo 24 V (obr. 13) je vybavena čtyřmi elektromotory. Každý elektromotor má výkon 200 W [22]. Autíčko je poháněno gelovou baterií o 24 V, která má kapacitu 7 Ah.

Z důvodu bezpečnosti vede nad hlavou řidiče rám. Tento rám je tvořen plastovými trubkami, které jsou trochu prohnuté. V případě převrácení autíčka vzhůru nohama by toto prohnutí mělo vytvořit jemné zhoupnutí.

Dálkové ovládání opět pracuje na frekvenci 2,4 GHz. Lze na něm najít tři rychlosti a také bezpečnostní tlačítko STOP. Tlačítko slouží k okamžitému zastavení autíčka.

Základní parametry			
Hmotnost		m [kg]	33,5
Rozměry	Délka	x [mm]	1 290
	Šířka	y [mm]	760
	Výška	z [mm]	660
Max. rychlost		v [km·h^{-1}]	3-8
Výkon motoru		P [W]	4 x 200
Baterie	Napětí	U [V]	24
	Kapacita	I [Ah]	7
Doba jízdy		t [h]	1
Doba nabíjení		t_n [h]	10 -12
Cena		[Kč]	10 576,- (26.04.2023)

Tabulka 5: Základní parametry Buggy Turbo 24 V

Obrázek 13: Buggy Turbo 24 V [22]

BUGGY RACING

Buggy Racing (obr. 14) patří, dle dodavatele [23], do kategorie čtyřkolka. Vozítko je opět poháněno čtyřmi elektromotory o celkovém výkonu 180 W. Energii elektromotorům poskytuje výkonná baterie 12 V / 10 Ah.

Základní parametry			
Hmotnost		*m* [kg]	21
Rozměry	Délka	*x* [mm]	1 130
	Šířka	*y* [mm]	730
	Výška	*z* [mm]	560
Výkon motoru		*P* [W]	4 x 45
Baterie	Napětí	*U* [V]	12
	Kapacita	*I* [Ah]	10
Cena		[Kč]	6 599,- (26.04.2022)

Tabulka 6: Základní parametry Buggy Racing

Obrázek 14: Buggy Racing [23]

1.6.2 HECHT MOTORS BUGGY

Autíčka typu buggy je velmi těžké najít v elektrické verzi. Většina buggy je poháněna spalovacími motory. Jednou z výjimek jsou buggy od společnosti HECHT MOTORS s.r.o.

Akumulátorová UTV buggy [24] je velice tichá a neprodukuje žádné zplodiny při svém používání. Buggyny jsou vybaveny pevným ocelovým rámem a bezpečnostními pásy. Také mají typicky nízko položené těžiště. Z tohoto důvodu jsou stabilnější a bezpečnější než například čtyřkolky.

HECHT 54812

Hecht 54812 (obr. 15) [24] je poháněna elektromotorem o příkonu 500 W, který umožňuje jízdu rychlostí až 35 km·h^{-1}. Kvůli lepší přilnavosti je vozidlo vybaveno diferenciálem. Také je tím zlepšena stabilita a ovladatelnost.

Ovládání buggy je tvořeno pedály, kde pravý pedál je plynový a levý slouží k ovládání brzdy. Velkou výhodou tohoto vozidla je, že bez klíčků nelze nastartovat. Je tak zamezeno možnosti samostatné jízdě dítěte bez dozoru rodiče. K vybavení buggy patří druhý klíč, který slouží k nastavení omezovače rychlosti. Na palubní desce lze nalézt přepínač směru jízdy, který lze zvolit směr jízdy v před, či vzad. Taktéž je zde umístěn indikátor stavu nabití baterie.

Základem buggy je pevný rám z ocelových trubek. V případě převrácení vozítka je ochranný rám nad hlavou zvýšený. Vzhledem k různým velikostem dětí, je vozidlo vybaveno sedačkou, kterou je možné posouvat.

Základní parametry			
Rozměry	Délka	x [mm]	1 380
	Šířka	y [mm]	830
Max. rychlost		v [km·h^{-1}]	35
Výkon motoru		P [W]	500
Cena		[Kč]	22 990,- (26.04.2023)

Tabulka 7: Základní parametry Hecht 54812

Obrázek 15: Hecht 54812 [24]

HECHT 54899

Hecht 54899 (obr. 16) [25] je vozidlo určené pro volnočasové aktivity. Pohon této buggy tvoří elektromotor o příkonu 500 W, který umožňuje dosáhnout maximální rychlosti 30 km·h^{-1}.

Stejně jako v předchozím případě je vozidlo ovládáno pomocí dvou pedálů. Plynového a brzdového. Pevný rám zaručuje bezpečí dítěte i v případě převrácení díky jeho konstrukci, která vede i nad hlavou řidiče.

Základní parametry			
Rozměry	Délka	x [mm]	1 450
	Šířka	y [mm]	780
	Výška	z [mm]	1 110
Max. rychlost		v [km·h^{-1}]	30
Výkon motoru		P [W]	500
Baterie	Napětí	U [V]	36
	Kapacita	I [Ah]	12
Cena		[Kč]	25 990,- (26.04.2023)

Tabulka 8: Základní parametry Hecht 54899

Obrázek 16: Hecht 54899 [25]

1.6.3 SUNWAY DUNE 1000W

Jednou z mála elektrických buggyn je také Sunway Dune 1000 W [26]. Vozidlo (obr. 17) je určeno primárně pro dvě děti a je poháněno elektromotorem o příkonu 1000 W k jehož napájení slouží pět 12 V olověných baterií. Buggy je schopná jet maximální rychlostí 30 km·h^{-1}.

Ochranný rám je tvořen ocelovými trubkami, které vedou i nad hlavou řidiče. Baterie jsou umístěny v zadní části za sedačkami. V základním provedení je vozidlo ovládáno dvěma pedály, plynovým a brzdovým. Řazení je umožněno vpřed a vzad.

Základní parametry			
Hmotnost		m [kg]	89
Rozměry	Délka	x [mm]	1 710
	Šířka	y [mm]	1 115
	Výška	z [mm]	1 195
Max. rychlost		v [km·h^{-1}]	30
Výkon motoru		P [W]	1 000
Baterie	Napětí	U [V]	5 x 12
	Kapacita	I [Ah]	20
Doba jízdy		t [h]	1,5
Doba nabíjení		t_n [h]	6 – 8
Cena		[Kč]	41 391,- (25.05.2023)

Tabulka 9: Základní parametry Sunway Dune 1000W

Obrázek 17: Sunway Dune 1000W [26]

1.6.4 HAVEL BUGGY

Havel buggy jsou koncipovány jak off-road sportovní autíčka [27], která jsou určena pro děti od čtyř do šestnácti let. Snahou je vyrobit vozidla, která jsou velmi stabilní, lehce ovladatelná a spolehlivá. Hlavním úkolem designérů těchto buggyn je zajištění bezpečnosti jezdců. Bezpečnostní prvky těchto vozidel jsou hlavně samotná karoserie tvořená skořepinou a čtyřbodové pásy. Buggy jsou poháněny spalovacími motory.

Firma Havel Buggy se zaměřuje na čtyři hlavní konstrukce. Všechny typy jsou vyrobeny jako plnohodnotné závodní buggy, které odpovídají bezpečnostním a konstrukčním požadavkům ve svých kategorií. Tyto vozidla je možné si buď zakoupit, nebo vypůjčit.

BETA RS

Beta RS je buggy poháněna čtyřdobým motorem s odstředivou spojkou typu HONDA GX 120 4HP [28].

Karoserie je vyrobena ze sklolaminátové skořepiny, která má vysokou tuhost. Skořepina je, pro zvýšení bezpečnosti řidiče při případném převrácení vozidla, protažena i nad hlavu jezdce. Buggy je vybavena bočními dvířky pro lepší nasedání. Jedná se o jednomístné vozidlo. Z důvodu věkového rozpětí možných řidičů je autíčko vybaveno anatomickou sedačkou, která je posuvná. Základní výbavou jsou čtyřbodové bezpečnostní pásy, boční sítě, přední ochranná síť, brzdová a poziční světla a zpětná zrcátka.

Přední náprava je tvořena nezávislým zavěšením kol. Zadní náprava je hnací tuhá, opatřena diferenciálem. Odpružení buggy je zajištěno spirálovými pružinami s hydraulickými tlumiči. Na zadních kolech jsou hydraulické kotoučové brzdy. Řízení je tvořeno hřebeny.

Základní parametry			
Hmotnost		m [kg]	125
Rozměry	Délka	x [mm]	1 600
	Šířka	y [mm]	1 020
	Výška	z [mm]	1 030
Rychlost		v [km·h^{-1}]	28
Cena		[Kč]	Od 75 630,- (25.05.2023)

Tabulka 10: Základní parametry Beta RS

BETA C

Beta C [29] je koncipována spíše jako sportovní a výcviková buggy (obr. 18). Je opatřena jednoduchým ovládáním a vykazuje velkou stabilitu. Stejně jako Beta RS je i toto vozidlo poháněno motorem HONDA GX 120 4HP.

Jednomístná buggy má opět karoserii vyrobenou ze sklolaminátové skořepiny o vysoké tuhosti. V tomto případě však nejde až nad hlavu řidiče. V oblasti hlavy je vyrobená jednoduchá trubkovitá konstrukce, která dítě chrání před poraněním hlavy v případě překlopení. Anatomická sedačka s čtyřbodovými pásy je stejně jako v předchozím případě posuvná.

Základní parametry			
Hmotnost		m [kg]	120
Rozměry	Délka	x [mm]	1 600
	Šířka	y [mm]	1 020
	Výška	z [mm]	1 030
Rychlost		v [km·h^{-1}]	28
Cena		[Kč]	Od 66 000 ,- (25.05.2023)

Tabulka 11: Základní parametry Beta C

Obrázek 18: Beta C [29]

BETA RSXV

Beta RSXV (obr. 19) je jednou z větších buggyn, které jsou v Havel Buggy s.r.o. vyráběny. Zdrojem energie je motor HONDA GX 160 5, nebo 5HP [30]. Tedy motor čtyřdobý s variátorem.

Karoserie je obdobná, jako u verze Beta RS. Opět je vyrobena ze sklolaminátové skořepiny a vede i nad hlavou řidiče. Buggy je vybavena anatomickou posuvnou sedačkou, čtyřbodovými pásy, bočními dvířky a předním štítem.

Základní parametry			
Hmotnost		m [kg]	135
Rozměry	Délka	x [mm]	1 800
	Šířka	y [mm]	1 130
	Výška	z [mm]	950
Rychlost		v [km·h^{-1}]	45
Cena		[Kč]	Od 120 000 ,- (25.05.2023)

Tabulka 12: Základní parametry Beta RSXV

Obrázek 19: Beta RSXV [30]

CROSSKART

Crosskart (obr. 20) je plně závodní buggy, která vyhovuje předpisům FIA skupiny Crosskart. Je primárně určena pro mládež od dvanácti let, ale může být i pro dospělé. Určena je pro jízdu v terénu a její konstrukce odpovídá sportovní a výcvikové buggy. Základem je opatřena příhradovou konstrukcí rámu.

Pohonem je čtyřdobý motor vzduchem chlazený s odstředivou spojkou značky HONDA GX 390 13HP [31]. Tento motor se dá obměnit za jakýkoliv motocyklový motor do obsahu 650 ccm.

Karoserie je laminátového provedení, ale může být i uhlíko-kevralová. Součástí karoserie jsou dveře, které se otevírají směrem vzhůru. Podle předpisu FIA je buggy vybavena příhradovou konstrukcí o vysoké pevnosti. Velký důraz při výrobě je kladen na bezpečnost.

Přední i zadní náprava je tvořena nezávislým zavěšením. Přední náprava je tvořena trojúhelníkovými rameny. Zadní náprava je pak tříprvková. Kotoučové brzdy jsou namontovány na zadních kolech. Na přední i zadní nápravě jsou upevněny hydraulické teleskopické tlumiče se spirálovými pružinami. Tlumiče mohou být i sportovního provedení. Kola jsou tvořena dvoudílnými hliníkovými ráfky.

Základní parametry			
Hmotnost		m [kg]	230 - 280
Rozměry	Délka	x [mm]	2 400 – 2 600
	Šířka	y [mm]	1 500 – 1 600
	Výška	z [mm]	1 350 – 1 450
Rychlost		v [km·h^{-1}]	30 - 250
Cena		[Kč]	Od 230 000 ,- (25.05.2023)

Tabulka 13: Základní parametry Crosskart

Obrázek 20: Crosskart [31]

2 POŽADAVKY NA DĚTSKOU BUGGY

Dětská buggy by měla odpovídat určitým požadavkům na konstrukci.

Jedním ze základních požadavků na navrhované vozidlo je zajistit možnost využití ve věkovém rozmezí přibližně od tří do sedmi let. Z tohoto důvodu je nutné znát výšky dětí a jejich hmotnosti.

Optimální výška dítěte ve věku tří let byla zjištěna z grafu Výšky v závislosti na grafu. Stejně tak to bylo provedeno pro výšku dítěte ve věku sedmi let. Optimální výška u dítěte ve věku tří let je 98 cm (Graf 1 a 3) a optimální hmotnost 15 kg (Graf 2 a 4). Ve věku sedmi let je výška 125 cm (Graf 5 a 7) a hmotnost 24 kg (Graf 6 a 8).

Mezi další požadavky patří bezpečnost. Rám, který bude vytvořen, musí zajistit bezpečí řidiče. Z tohoto důvodu by měl vést nad hlavou řidiče a být dostatečně pevný a tuhý. Konstrukční návrh bezpečnostního rámu by měl projít homologační zkouškou.

Vzhledem k tomu, že vozidlo bude určeno pro děti, není potřeba složitého ovládání.

Vozidlo bude poháněno pomocí elektromotoru. Motor by měl poskytovat přibližně výkon 1 kW. Elektromotor bude napájen bateriemi. Tyto baterie musí dodávat dostatečný proud a napětí, aby nedošlo k poškození jak elektromotoru, tak samotných baterií.

Celá buggy by měla být koncipována s určitým stylem. Z hlediska komfortu řidiče by vozidlo mělo být odpruženo a hlučnost by měla být minimální. Zároveň je požadována možnost jízdy terénem.

Vozidlo by mělo být cenově dostupné. Z ekonomického hlediska je levnější některé komponenty nakoupit, a ne je vyrábět. Proto bude navržen, jak postup výroby, tak možnost nákupu daných dílců.

Požadované parametry			
Max. hmotnost		m [kg]	150
Min. rozměry	Délka	x [mm]	1 000
	Šířka	y [mm]	500
	Výška	z [mm]	1 500
Rychlost		v [km·h^{-1}]	25 - 45
Výkon motoru		P [W]	1 000
Akumulátor	Napětí	U [V]	36 – 48
	Kapacita	I [Ah]	20 - 30
Doba jízdy		t [h]	1 – 1,5

Tabulka 14: Požadované parametry dětské buggy

3 KONCEPČNÍ NÁVRH VOZIDLA

Dětská elektrická buggy by ve svém návrhu měla brát ohled na měnící se výšku dětí vzhledem k věku dítěte. Existují dvě možná řešení tohoto problému. Prvním z nich je možnost posouvání sedačky řidiče pomocí kolejnic. Nevýhodou tohoto řešení je, že sedačka musí být z jednoho kusu a není možné jí napevno spojit s hlavním obloukem konstrukce rámu.

Druhým způsobem, jak zajistit možnost využívání vozidla řidičům o různých výškách, je vytvoření systému posuvné pedálové sestavy. Koncepční návrh byl vytvořen na základě druhého způsobu, hlavně kvůli možnosti uložení baterií pro napájení elektromotoru pod sedadlo řidiče. Sedačka by tak nemusela být přímo na podlaze buggy, nebo na přídavné konstrukci rámu. Sedadlo by mělo být vybaveno bočnicemi. Bočnice pomáhají v udržení polohy při průjezdu zatáčkami nebo při bočních nárazech. Dalším bezpečnostním prvkem jsou pětibodové bezpečnostní pásy.

Základ celé konstrukce bude tvořit lehký trubkový rám. Rozměry rámu by se měly pohybovat kolem jednoho metru na výšku, na šířku přibližně půl metru a na délku by měla mít buggy přibližně metr a půl. Při stanovení rozměrů bylo vycházeno z výšky možných řidičů. Návrh rámu je tvořen pomocí hlavního oblouku, který bude navařen na základní konstrukci, dále pak dvou bočních půloblouků a obvodového rámu. Návrh rámu mohl být vytvořen pouze z hlavního oblouku a obvodového rámu. Díky dvěma bočním půlobloukům však rám vede nad hlavou řidiče, čímž byl splněn jeden z požadavků na konstrukci.

Nad zadní nápravou s elektromotorem bude umístěn ochranný rám, který slouží k zachycení případného zadního nárazu a také pro uchycení odpružení zadní nápravy. Konstrukce musí být vyztužena pomocí vzpěr. Tím bude zajištěna bezpečnost a tuhost rámu.

Dalším prvkem vozidla je pedálová sestava. Ta se bude skládat z brzdového a plynového pedálu. Vzhledem k tomu, že vozidlo bude poháněno elektromotorem, tak není zapotřebí spojkového pedálu. Brzdový pedál bude ovládat brzdy pomocí hydrauliky. Plynový pedál bude opatřen potenciometrem. Potenciometr bude spojen s regulátorem otáček, který bude korigovat otáčky elektromotoru. Pedály je možné podvěsit v přední části obvodového rámu (obr. 22). Pedálová sestava může být ovšem umístěna i na podlaze bugy (obr. 21). V obou případech bude zajištěna snadná přístupnost a možnost přizpůsobení vzdálenosti v podélném směru.

Převod řízení od volantu k hřídeli skříně převodky řízení bude řešen kardanovými hřídeli. K otáčení kol budou sloužit dvě táhla, která budou upevněna kulovým čepem k těhlici. V prvním návrhu bylo uvažováno s pákovým typem řízení. Ve finálním návrhu bylo použito hřebenové řízení, které se skládá z pastorku, který posouvá hřeben. Tento hřeben vysouvá a zasouvá tyče řízení, které otáčejí koly. Hřebenové řízení má větší rozsah pohybu nežli pákové.

Přední náprava bude navržena lichoběžníkové konstrukce. Hlavní výhodou této konstrukce je napomáhání udržení kontaktu pneumatiky s vozovkou a také zlepšení průjezdu ostrých oblouků. Poháněna bude zadní náprava, která bude vyhotovena jako tuhá. V rámci příprav bylo uvažováno také s lichoběžníkovou nápravou. Jedná se ale o náročnější konstrukci, s množstvím pohyblivých částí a uložení, ve které hraje důležitou roli geometrie. Proto byla zvolena jednodušší varianta zavěšené tuhé nápravy. Dalším důvodem bylo hledisko ekonomické.

Pohon zajistí elektromotor o výkonu 1 kW. Výhodou elektromotoru je tichý chod a není potřeba spojkového pedálu. Navíc je schopen otáčení ve dvou směrech. Znamená to, že není potřeba

složitého převodu. Přenos výkonu od elektromotoru na zadní nápravu bude zajištěn řetězem. Elektromotor bude umístěn v zadní části vozidla na zadní nápravě, na které bude přímo namontován. Napájen bude akumulátory, které budou v boxu v blízkosti sedačky jezdce. Akumulátory nebylo možné umístit do přední části vozidla, z důvodu složitějšího rozvodu řízení a přístupnosti.

Z estetického hlediska bude v přední části vozidla umístěna kapota. Boky buggy mohou být také zakryty plastovými kryty, nebo pomocí provazové sítě. Síť je vzhledem k jednoduchosti a cenového hlediska lepší volbou. K zakrytí podlahy bude sloužit vzorovaný plech.

Obrázek 21: Koncepční návrh s pedály na zemi a boxem baterií za sedačkou

Obrázek 22: Koncepční návrh s podvěšenými pedály a boxem s bateriemi pod sedačkou

4 KONSTRUKČNÍ NÁVRH

V této kapitole bude řešen konstrukční návrh jednotlivých prvků vozidla, to znamená bezpečnostního rámu, pedálové sestavy, krytí podlahy a dalších komponent.

4.1 KONSTRUKČNÍ NÁVRH RÁMU

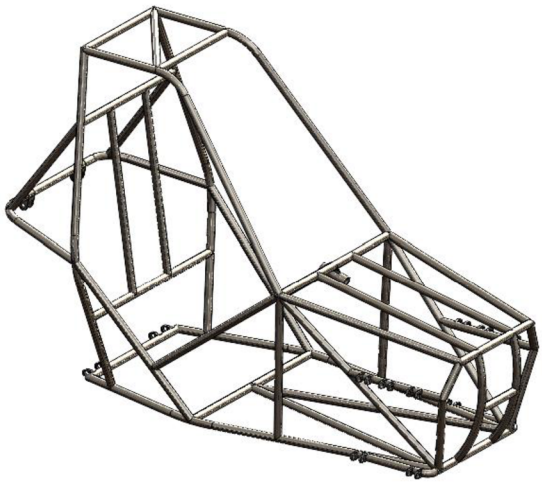
Základním prvkem celého elektrického vozidla pro děti je bezpečnostní rám. Tento rám slouží jako základní nosný prvek, ke kterému budou následně připevněny další komponenty vozidla. Dalším úkolem rámu je zachycení působících sil při nárazu. Z hlediska bezpečnosti tedy musí odpovídat určitým předpisům. V tomto případě byly zvoleny homologační zkoušky statického zatížení dané normou FIA.

Rám bude tvořen trubkami o kruhovém průřezu. Trubky jsou zhotoveny z materiálu S235JRC s maximální pevností v tahu 360 MPa a s mezí kluzu 235 MPa [32]. Jedná se o konstrukční ocel vhodnou pro svařování. Vnější průměr trubek je 25 mm a tloušťka stěny je 2 mm.

Rám se skládá ze základny (na obr. 26 modrá barva), ke které budou připojeny další části konstrukce, jako je hlavní oblouk, výztuhy, nosné trubky a další prvky rámu. Základna je opatřena diagonálními výztuhami. Dále pak nosnou příčnou trubkou pro upevnění jednotlivých částí podlahy. Součástí je i nosný prvek určený pro uchycení přední nápravy (tyrkysová barva). V oblasti za uchycením předního oblouku se nachází část pro přichycení zadní nápravy (tyrkysová barva).

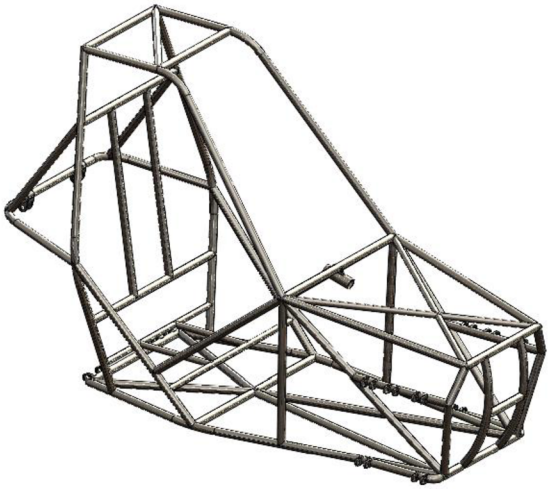
K základně je přivařen hlavní oblouk (obr. 26 červená barva), který je skloněn o 10° vzhledem k svislé rovině. Tento sklon je proveden pro ideální naklonění opěradla sedačky z hlediska komfortu a správného posazení. Hlavní oblouk je opět opatřen výztuhami. V tomto případě se jedná o dvě vodorovné trubky. Mezi nimi jsou vloženy dva svislé nosníky pro upevnění opěradla sedačky vzhledem k rámu. Součástí hlavního rámu je také ochranný rám motorového prostoru (tmavě zelená barva), který slouží jako nárazník v případě zadního nárazu a jako uchycení odpružení zadní nápravy (tyrkysová barva).

Hlavní oblouk je zajištěn vůči základně dvěma výztuhami. Výztuhy jsou dále propojeny nosníky a dohromady tvoří obvodový rám (obr. 26 oranžová barva). Vytvořeny jsou dvě verze obvodového rámu. První (obr. 23) je opatřena nosnými trubkami, ke kterým bude připevněna pedálová sestava.



Obrázek 23: Rám s nosnými trubkami

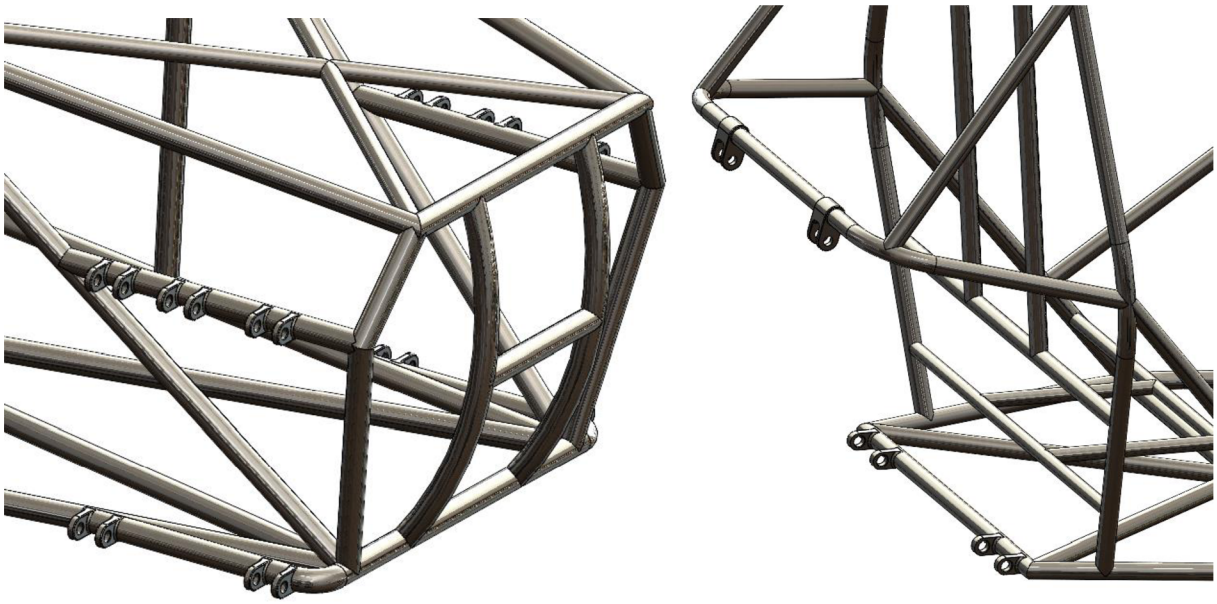
Druhá verze (obr. 24), ve které budou pedály přichyceny k podlaze, má místo nosných prvků diagonální výztuhy.



Obrázek 24: Rám s výztuhami

K základně je obvodový rám připevněn pomocí svislé vzpěry a diagonální výztuhy. Přední část je tvořena nárazníkem stávajícím ze dvou oblouků a dvou svařenců propojující základnu s obvodovým rámem (obr. 26 tmavě zelená barva). Oblouky jsou propojeny vodorovnou vzpěrou. Mezi diagonální vzpěrou a svařencem je umístěn nosník nápravy (tyrkysová barva).

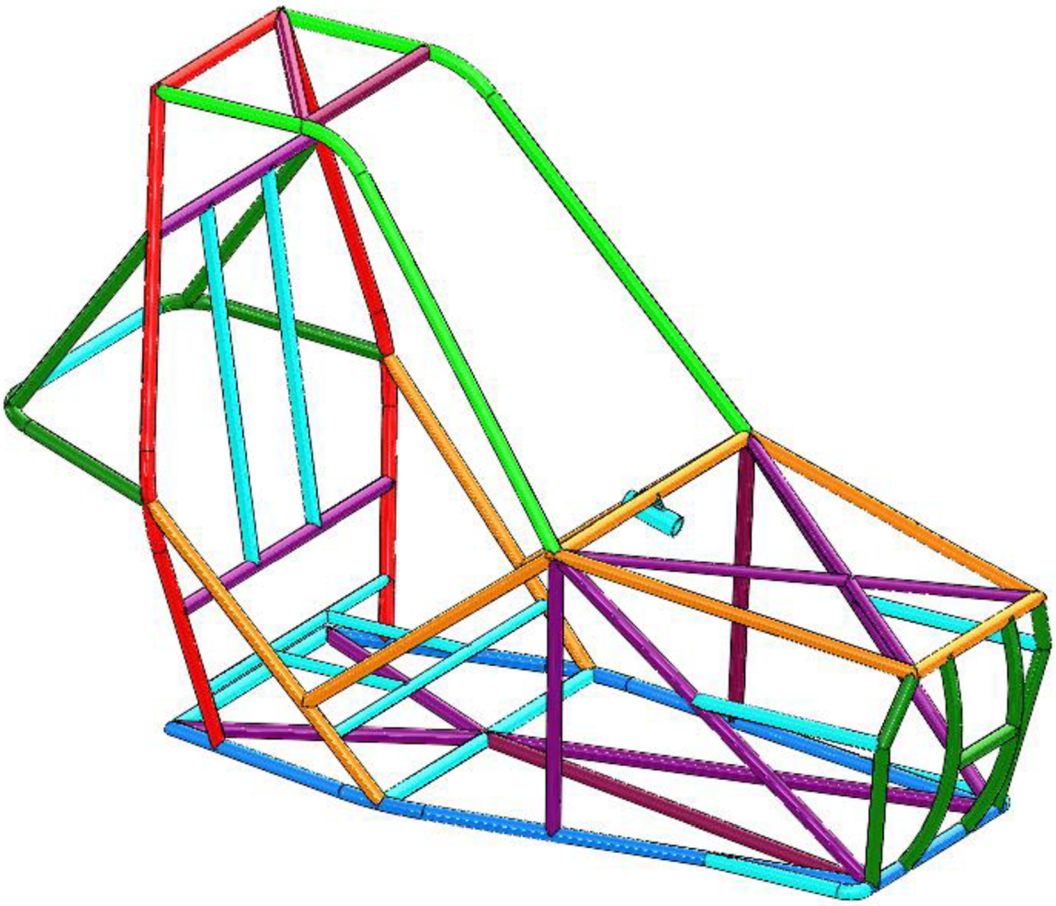
V místech sloužících k umístění náprav jsou ke konstrukci navařeny držáky (obr. 25, vlevo uchycení přední nápravy, vpravo uchycení zadní nápravy). Jedná se o držáky jak pro samotnou nápravu, tak odpružení.



Obrázek 25: Uchycení náprav

Hlavní oblouk s obvodovým rámem je spojen pomocí dvou bočních oblouků (obr. 26 světle zelená barva), které vedou nad hlavou řidiče. V horní části jsou opatřeny dvěma výztuhami, jednou úhlopříčnou a jednou vodorovnou. Rozpěra mezi bočními oblouky slouží k uchycení pouzder volantové tyče (tyrkysová barva).

Použité výztuhy jsou na obr. 26 zvýrazněny tmavě fialovou barvou. Nosné prvky pak barvou tyrkysovou.



Obrázek 26: Konstrukce rámu

Základní parametry rámu			
Hmotnost		*m* [kg]	35,5
Rozměry	Délka	*x* [mm]	1 713
	Šířka	*y* [mm]	800
	Výška	*z* [mm]	1 118

Tabulka 15: Základní parametry rámu

4.1.1 VÝROBNÍ POSTUP

Prvním krokem při samotné výrobě rámu je svaření celé základny. Následně je svařena konstrukce hlavního oblouku včetně ochranného rámu. Hlavní oblouk bude bodovým svařováním spojen se základnou. Aby byla zajištěna správná poloha oblouku vůči základně, přivaří se k nim dvě výztuhy a poté se provede konečný svár hlavního oblouku a základny.

Poté bude svařena přední část obvodového rámu s nosníky pedálů a rozpěrou s uchycením pouzder řízení. Připraví se přední nárazník a pomocí stojné trubky a předního nárazníku se propojí přední část obvodového rámu se základnou. Dále se vloží několik výztuh a nosníky nápravy do konstrukce a vše se svaří.

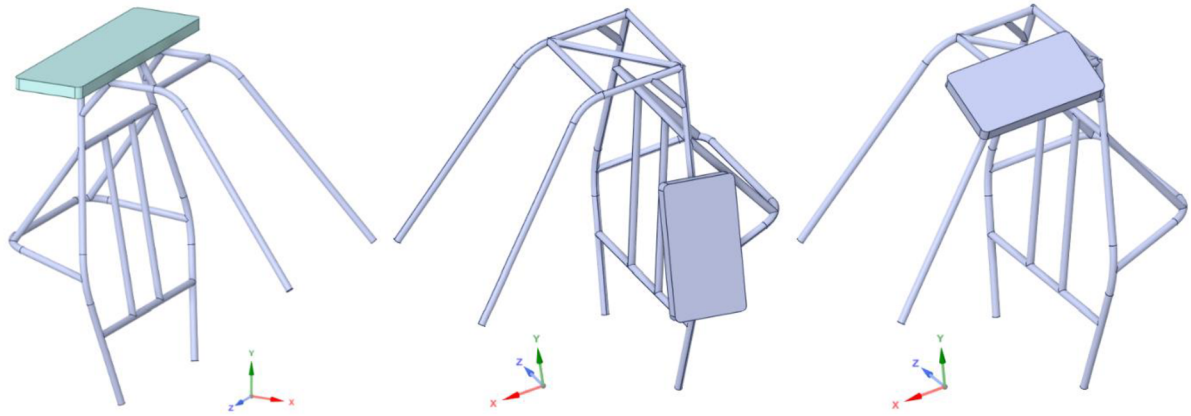
Posledním krokem při výrobě bude propojení přední části obvodového rámu s hlavním obloukem pomocí dvou předních oblouků. Ty budou vyztuženy v horní části dvěma výztuhami. Celou konstrukci lze dále zpevnit trojúhelníkovými výztuhami.

4.1.2 HOMOLOGAČNÍ ZKOUŠKA

Homologační zkouška byla provedena pomocí programu ANSYS. Jedná se o statické zatížení rámu po určitou dobu. Z tohoto důvodu bylo využito aplikace Static Structural, která se zaměřuje na výpočet pevnostní analýzy prvků.

Prvním krokem před samotným výpočtem, bylo nastavení materiálu, který byl použit při návrhu. Jedná se o materiál S235JRC jehož hustota je 7 800 $kg \cdot m^{-3}$, pevnost v tahu dosahuje 360 MPa a mez kluzu 235 MPa. Tento krok byl proveden v záložce Engineering Data a následně došlo k propojení těchto dat v rámci zkoušek.

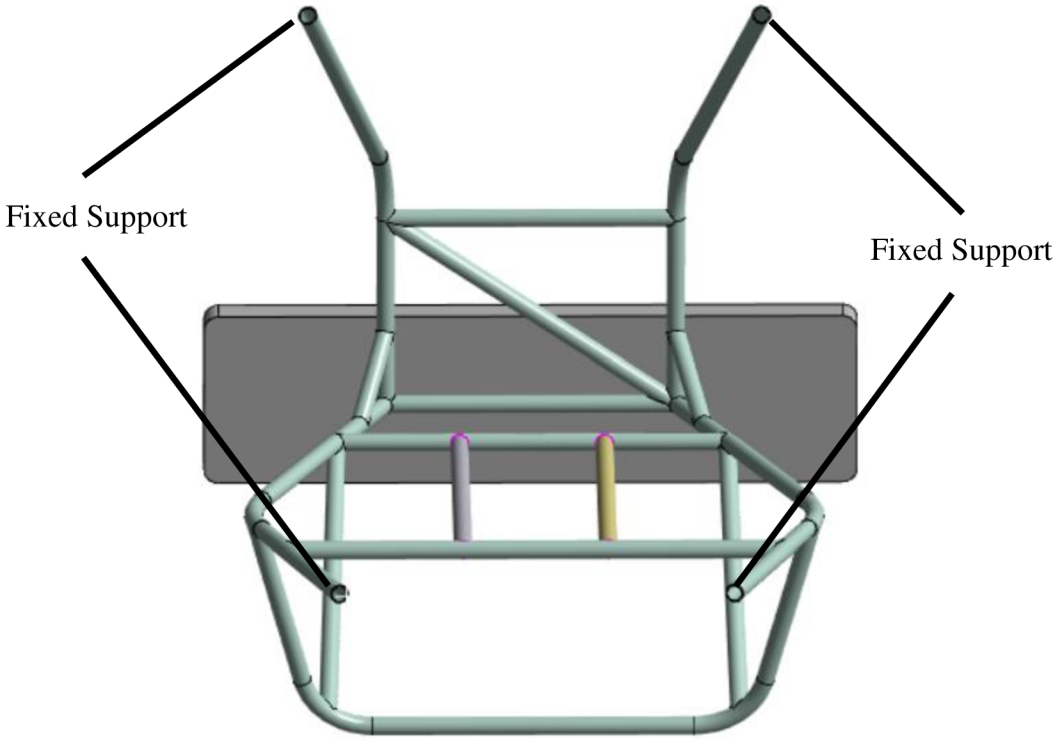
Po nastavení materiálu byla nahrána samotná geometrie rámu (obr. 27). Tato geometrie byla vytvořena v programu SolidWorks a ve formátu STEP importována do programu ANSYS. Před spuštěním samotné simulace bylo však nutné geometrii zkontrolovat a opravit v aplikaci SpaceClaim. Geometrie se skládá z rámu buggy a trnu, který bude využit jako plocha pro působení síly.



Obrázek 27: Geometrie homologační zkoušky

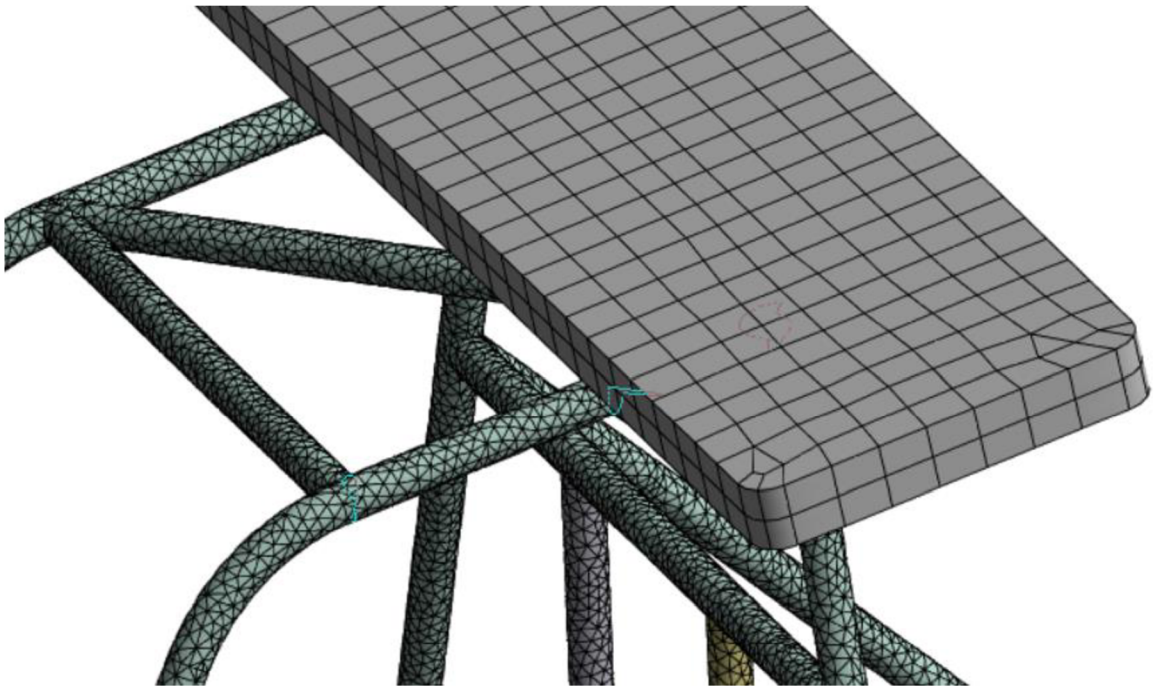
V simulačním programu byl geometrii přiřazen správný materiál a následně byly vytvořeny okrajové podmínky. Vzhledem k tomu, že geometrie představuje jen část celého rámu, bylo nutné vytvořit podmínku, která by představovala uchycení na zbytek rámu. Rám se vůči sobě nepohybuje, z tohoto důvodu byla vybrána vazba Fix Support, která zamezuje pohyb ve všech směrech. Tato okrajová podmínka byla uplatněna na čtyři koncové plochy (obr. 29).

Další okrajovou podmínkou je síla, která je vždy vypočtena podle toho, o jakou zkoušku se jedná. Síla má působit na trn, který je umístěn vždy na určitém místě rámu. Pro zjednodušení bude na trn působit tlak, který je spočten ze síly a plochy na kterou působí síla. Velikost plochy byla zjištěna pomocí programu Solidworks.



Obrázek 29: Umístění okrajové podmínky Fixed Support

Po zadání okrajových podmínek byla vytvořena síť (obr. 28). Samotný trn nebyl vzhledem k deformaci důležitý, proto jeho síť byla vytvořena většími prvky o velikosti 30 mm. K tomu bylo využito funkce Sizing, která byla aplikována na celé těleso. Síť rámu je tvořena pomocí tetraedrů o velikosti 10 mm.



Obrázek 28: Ukázka sítě modelu

VÝSLEDKY ZATÍŽENÍ HLAVNÍHO OBLOUKU

Při zkoušce zatížení hlavního oblouku ocelový trn tlačí na horní část rámu. Síla, kterou je na rám působeno je dána podle rovnice (1), tedy:

$$F_{HO} = 7{,}5 \cdot (hmotnost\ vozidla + 150\ kg) \cdot g \tag{1}$$

$$F_{HO} = 7{,}5 \cdot (112\ kg + 150\ kg) \cdot 9{,}81\ m \cdot s^{-2} = 19\ 276{,}65\ N$$

F_{HO} [N] … síla zatěžující rám
g [m·s^{-2}] … tíhové zrychlení

Tato síla je přepočtena na tlak, který působí na plochu trnu. Aby bylo možné určit tlak je nejprve potřeba zvolit přesné rozměry trnu. Délka trnu byla zvolena dle instrukcí z Tabulky 1. Tedy šířka hlavního oblouku plus 100 mm, kdy maximální šířka oblouku činní přibližně 800 mm.

Základní parametry trnu		
Délka trnu	x [mm]	900
Šířka trnu	y [mm]	250
Min. tloušťka trnu	t_t [mm]	40
Poloměr zaoblení trnu	r [mm]	20

Tabulka 16: Základní parametry trnu

Tlak na plochu je potom vyjádřen rovnicí:

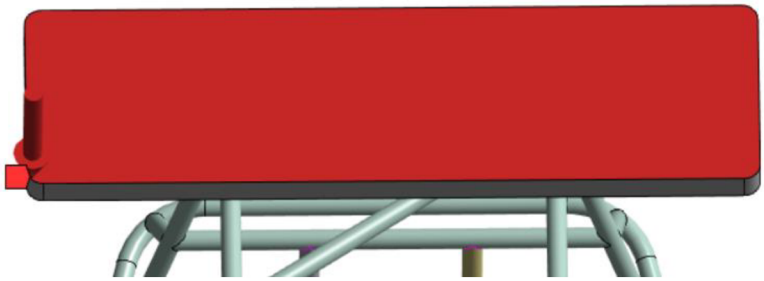
$$p_{HO} = \frac{F_{HO}}{S_{T1}} \tag{4}$$

p_{HO} [Pa] …tlak působící na trn
F_{HO} [N] … síla zatěžující rám
S_{T1} [m^2] …plocha trnu

Plocha trnu zjištěna z programu Solidworks činní 224 656,64 · 10^{-6} m^2. Tlak, který vyvolá danou sílu je roven:

$$p_{HO} = \frac{19\ 276{,}65\ N}{224\ 656{,}64 \cdot 10^{-6} m^2} = 85\ 804{,}94\ Pa$$

Tento tlak je v programu ANSYS zadán, jako okrajová podmínka na ploše trnu (obr. 30).



Obrázek 30: Okrajová podmínka tlaku

V této zkoušce je vyhodnocována celková deformace hlavního oblouku. Maximální povolená deformace je 50 mm. Deformace, která vznikla vypočtenou silou je 7,8 mm (obr. 31), která je v daném limitu. K největší deformaci rámu dochází v oblasti příčné výztuhy mezi bočními půloblouky. Dochází k vychýlení celé konstrukce směrem dozadu, tím dojde k zvětšení napětí v bočních půlobloucích.

Obrázek 31: Deformace rámu při zatížení hlavního oblouku

VÝSLEDKY BOČNÍHO ZATÍŽENÍ RÁMU

V případě zatížení bočního zatížení je síla zatěžující trn vypočtena dle rovnice (2) tedy:

$$F_{BO} = 3{,}5 \cdot (hmotnost\ vozidla + 150\ kg) \cdot g\ [N] \tag{2}$$

$$F_{BO} = 3{,}5 \cdot (112\ kg + 150\ kg) \cdot 9{,}81\ m \cdot s^{-2} = 8\,995{,}77\ N$$

F_{BO} [N] … síla zatěžující rám
g [m·s^{-2}] … tíhové zrychlení

Základní rozměry trnu byly opět zvoleny na základě Tabulky 2. Trn se při bočním zatížení nachází 550 mm nad upevněním hlavního oblouku ke zbytku rámu.

Základní parametry trnu		
Délka trnu	x [mm]	450
Šířka trnu	y [mm]	250
Min. tloušťka trnu	t_t [mm]	40
Poloměr zaoblení trnu	r [mm]	20

Tabulka 17: Základní parametry trnu

Plocha trnu v tomto případě je rovna 112 156,64 · 10^{-6} m^2. Tlak na plochu je dán rovnicí (5):

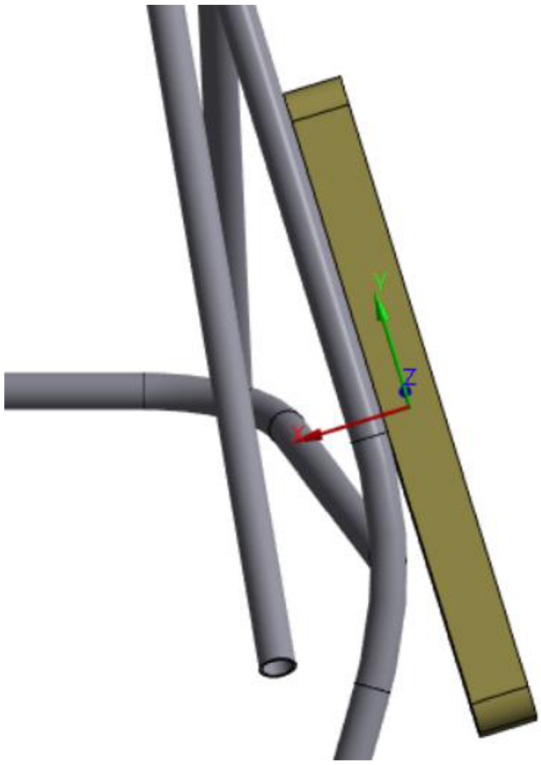
$$p_{BO} = \frac{F_{BO}}{S_{T1}} \tag{5}$$

$$p_{BO} = \frac{8\,995{,}77\ N}{112\,156{,}64 \cdot 10^{-6} m^2} = 80\,207{,}20\ Pa$$

p_{BO} [Pa] …tlak působící na trn
F_{BO} [N] … síla zatěžující rám
S_{T2} [m^2] …plocha trnu

Tlak byl opět zadán jako okrajová podmínka na plochu trnu.

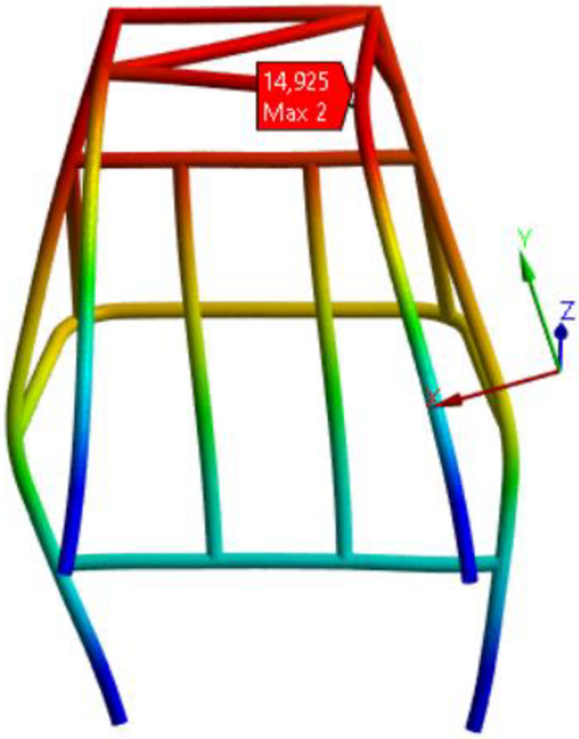
Při bočním zatížení je řešena deformace ve směru působení síly na rám. Aby bylo možné tuto deformaci ze simulace zjistit, byl vytvořen nový souřadný systém (obr. 32), který se nachází ve středu trnu a osa x je orientována směrem působící síly.



Obrázek 32: Umístění souřadného systému

Simulací v programu ANSYS byla zjištěna maximální celková deformace rámu (obr. 33), která činní 15,42 mm. V požadavcích na zkoušku je však řešena deformace ve směru působící síly (obr. 34). Maximální povolená směrová deformace je 50 mm. Výsledná hodnota deformace je 14,93 mm. Při působení síly na trn dochází k vychýlení rámu převážně ve směru působení síly. Znamená to, že největší deformace, a tedy i napětí se bude nacházet ve vrchní části konstrukce.

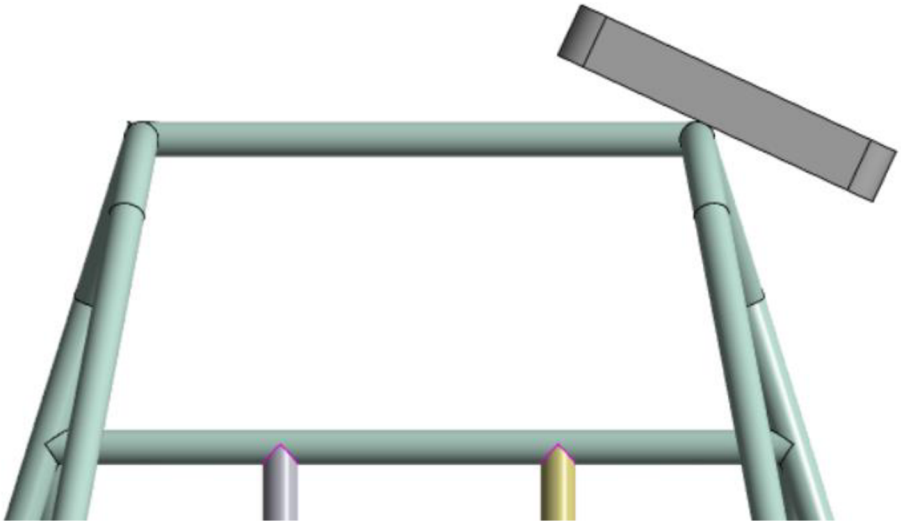
Obrázek 33: Celková deformace při bočním zatížení



Obrázek 34: Směrová deformace při bočním zatížení

VÝSLEDEK ZATÍŽENÍ PŘEDNÍHO OBLOUKU

Při zatížení předního oblouku je využito stejného trnu a zatížení, jako v případě bočního zatížení. Vzhledem ke konstrukci rámu se však v tomto případě nejedná o zatížení předního oblouku, ale zatížení bočního půloblouku. Zkouška probíhá stejně. Trn je umístěn na spoj příčné výztuhy, která se nachází mezi bočními půloblouky. Kratší strana trnu svírá s horizontální rovinou úhel 25° (obr. 35).



Obrázek 35: Umístění trnu při zatížení předního oblouku

Základní rozměry trnu jsou stejné jako při zkoušce bočního zatížení. Stejné rozměry trnu byly zvoleny z důvodu zjednodušení modelu a možnosti vytvoření pouze nových vazeb trnu k modelu rámu.

Základní parametry trnu		
Délka trnu	x [mm]	450
Šířka trnu	y [mm]	250
Min. tloušťka trnu	t_t [mm]	40
Poloměr zaoblení trnu	r [mm]	20

Tabulka 18: Základní parametry trnu

Z rovnice (3) byla vypočtena síla působící na trn:

$$F_{BP} = 3{,}5 \cdot (hmotnost\ vozidla + 150\ kg) \cdot g\ [N] \tag{3}$$

$$F_{BP} = 3{,}5 \cdot (112\ kg + 150\ kg) \cdot 9{,}81\ m \cdot s^{-2} = 8\,995{,}77\ N$$

F_{BP} [N] … síla zatěžující rám
g [m·s^{-2}] … tíhové zrychlení

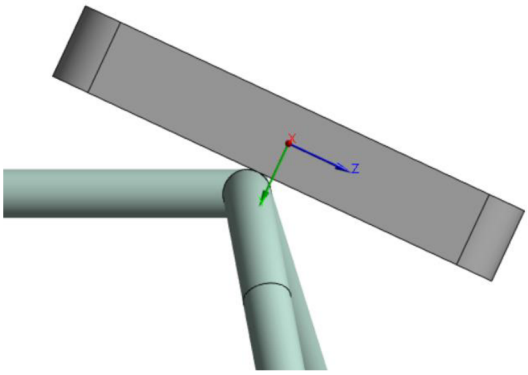
Ze vzorce je zřejmé, že síla zatěžující boční půloblouk má stejnou velikost jako při zkoušce bočního zatížení. Plocha trnu je také stejná, tedy 112 156,64 · 10^{-6} m^2. Tlak na plochu opět dán rovnicí (6):

$$p_{BP} = \frac{F_{BP}}{S_{T3}} \tag{6}$$

$$p_{BP} = \frac{8\,995{,}77\ N}{112\,156{,}64 \cdot 10^{-6} m^2} = 80\,207{,}20\ Pa$$

p_{BP} [Pa] …tlak působící na trn
F_{BP} [N] … síla zatěžující rám
S_{T3} [m^2] …plocha trnu

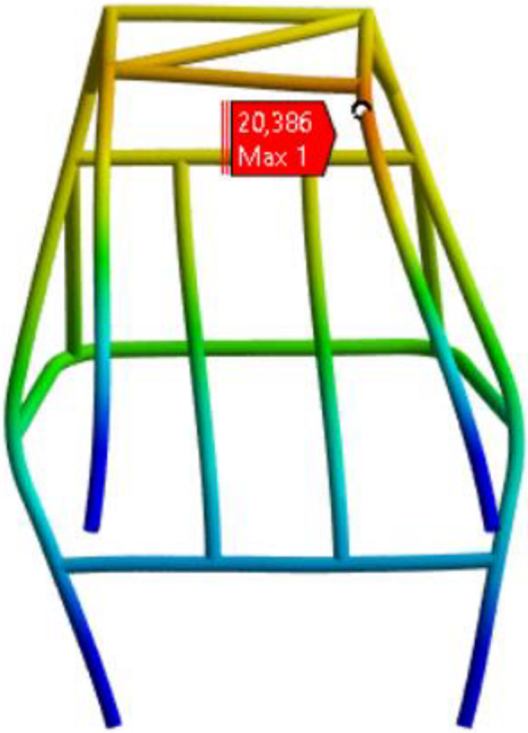
I při této zkoušce je vyhodnocována deformace ve směru působící síly. Z tohoto důvodu byl vytvořen souřadný systém (obr. 36), který je umístěn ve středu trnu a jeho osa y směruje ve směru působící síly, tedy pod úhlem 25° vzhledem k vertikální rovině.



Obrázek 36: Umístění souřadného systému

Výsledná celková deformace rámu je při zatížení bočního půloblouku rovna 20,39 mm (obr. 38). Opět je posuzována deformace ve směru působící síly. Tato deformace má maximum v místě zatížení a její hodnota je rovna 15,71 mm (obr. 37). Povolená deformace je 100 mm. Při zatěžování rámu opět dochází k vychýlení rámu ve směru působící síly.

Obrázek 37: Směrová deformace rámu

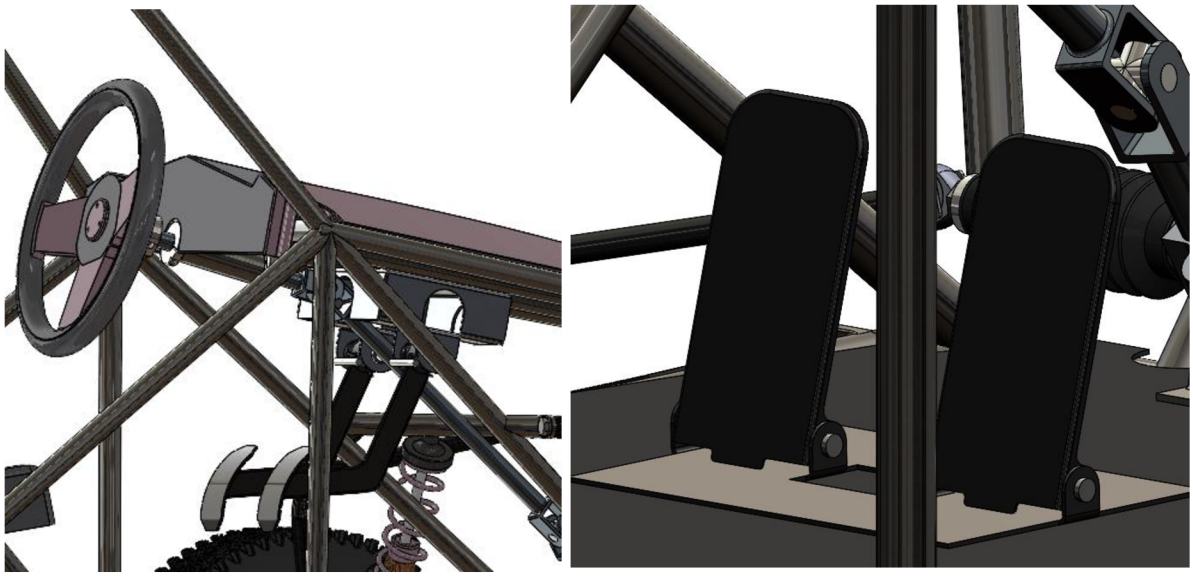


Obrázek 38: Celková deformace rámu

4.2 KONSTRUKČNÍ NÁVRH PŘÍSLUŠENSTVÍ

4.2.1 PEDÁLOVÁ SESTAVA

Pedálová sestava se skládá ze dvou pedálů, plynového a brzdového. Pedály mohou být umístěny přímo na rámu buggy, to znamená podvěšeny (obr. 39 vlevo), nebo na podlaze (obr. 39 vpravo).



Obrázek 39: Umístění pedálů

V případě, že pedály budou podvěšeny, k připojení k obvodovému rámu bude sloužit držák, který je vyroben z ohýbaného plechu o tloušťce 3 mm (obr. 40). Jako materiál držáku byl zvolen S235JR.

Pedály jsou připojeny k držáku dvěma dutými čepy o průměru 20 mm. Čepy jsou vůči pohybu zajištěny pojistnými kroužky. Zpětný pohyb pedálu je zajištěn pružinou. Pro zajištění vrchní polohy pedálu je na držáku pedálu navařena dorazová tyčka (obr. 40).

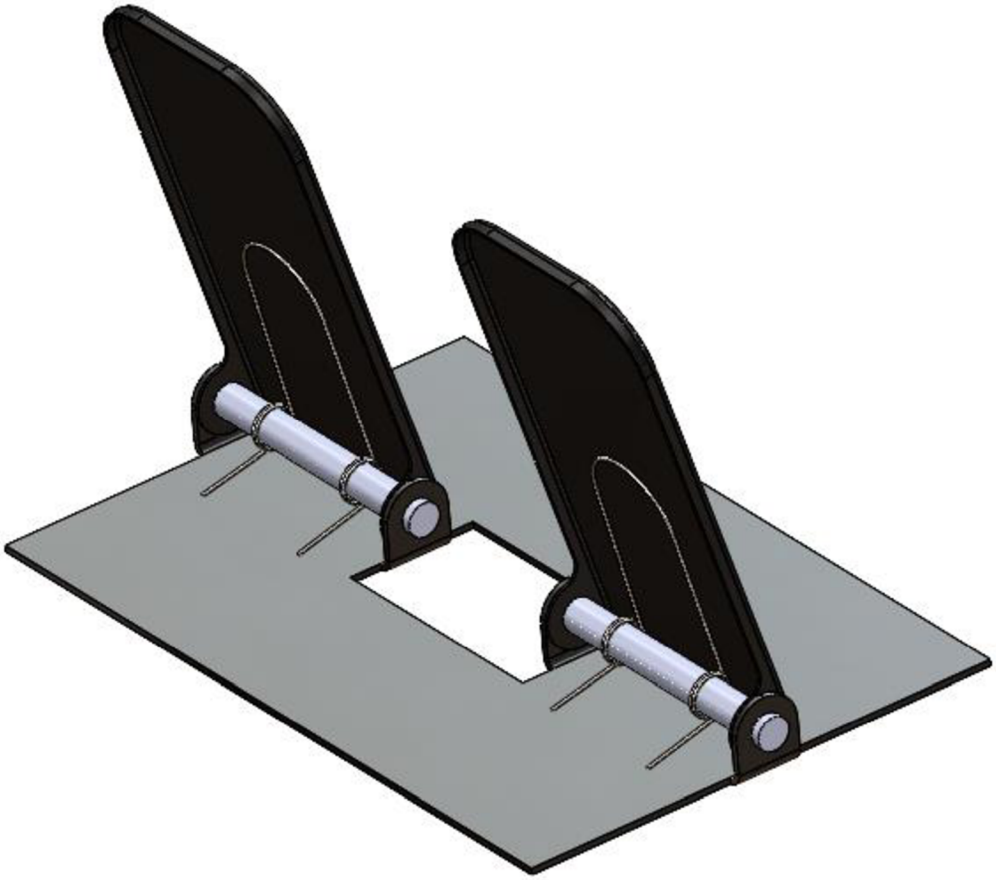
Obrázek 40: Pedálová sestava podvěsná

Sestava pedálů je podvěšena na konstrukci rámu v přední části. Aby bylo umožněno přizpůsobení vzdálenosti pedálů od sedadla řidiče v závislosti na jeho výšce (obr. 23), jsou součástí rámu dva podélné nosníky, které jsou v pravidelných vzdálenostech opatřeny dírami pro šrouby.

Pedály mohou být vyrobeny taktéž z materiálu S235JR. Jednalo by se o svařenec, který se skládá ze tří částí. Nášlapná plocha z ohýbaného plechu, tělo pedálu z vyřezávaného plechu o síle 5 mm a válcové trubky o vnitřním průměru 20 mm (obr. 40).

Pokud by byly pedály na podlaze, k nastavení vzdálenosti pedálů od řidiče by sloužila deska z hliníkové slitiny o tloušťce 2 mm. Rotační pohyb pedálů by byl opět zajištěn pomocí čepu, na kterém by byla pružina (obr. 41), která by zajišťovala zpětný pohyb. Přímo na pedálu by pak byl vyroben výstupek, který by zajišťoval doraz při zpětném pohybu.

Stejně jako v předchozím případě by čepy byly zajištěny pojistnými kroužky. Průměr čepu činní 10 mm. Na pedálech by bylo vyrobeno ouško, kterým by čep procházel. Pedály je možné vyrobit ze stejného materiálu, jako v předchozím případě. Jednalo by se však o ohýbaný, nebo lisovaný plechový díl.



Obrázek 41: Pedálová sestava podlahová

K brzdovému pedálu bude připojeno hydraulické ústrojí k ovládání brzdy. Rozvod brzdové kapaliny od pedálu k brzdiči bude vyřešen pomocí hadičky a trubičky běžných rozměrů.

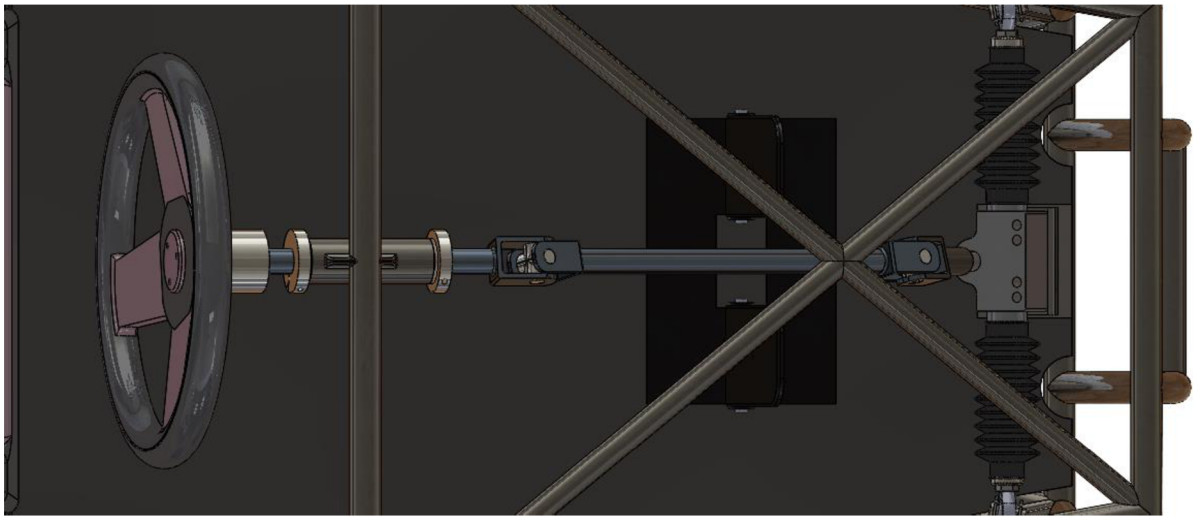
K plynovému pedálu bude připojen potenciometr, který na základě změny napětí bude vysílat signál do regulátoru otáček, který bude korigovat otáčky elektromotoru.

V případě zmenšení nákladů na výrobu je možné pedály zakoupit. Součástí zakoupených pedálů bývá i hydraulické ústrojí. Hadičky a trubičky, které jsou zapotřebí k hydraulickému ústrojí, budou zakoupeny.

4.2.2 ČÁSTEČNÁ SESTAVA ŘÍZENÍ

Částečná sestava řízení je tvořena volantem, tyčí volantu a kardanového hřídele, který propojuje tyč volantu se skříní převodky řízení. Na rámu je navařena trubka, ve které je pomocí dvou kluzných ložisek uložena tyč volantu. Poloha této tyče je v podélném směru vymezena dvěma upínacími kroužky. Samotný volant je k tyči připevněn pomocí příruby a šroubů (obr. 42).

V rámci zjednodušení výroby budou některé součástky nakoupeny, popřípadě lehce upraveny. Mezi nakupované součásti patří volant, kardanový kloub a upínací kroužky.

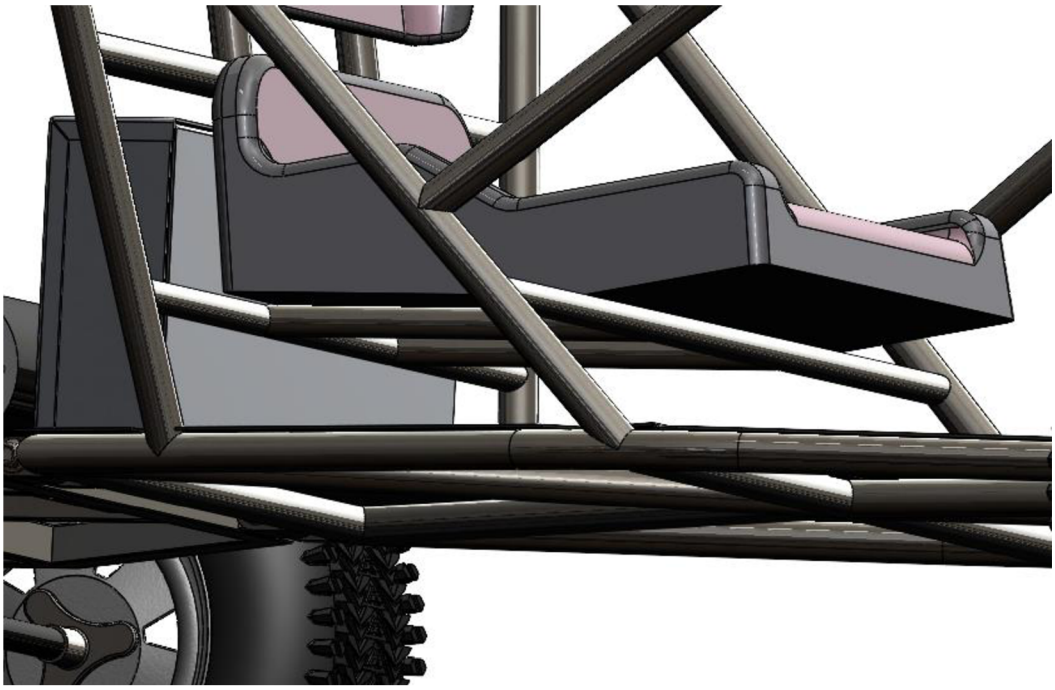


Obrázek 42: Sestava řízení

4.2.3 PŘÍSLUŠENSTVÍ

K příslušenství vozidla patří sedačka řidiče, karoserie a podlaha.

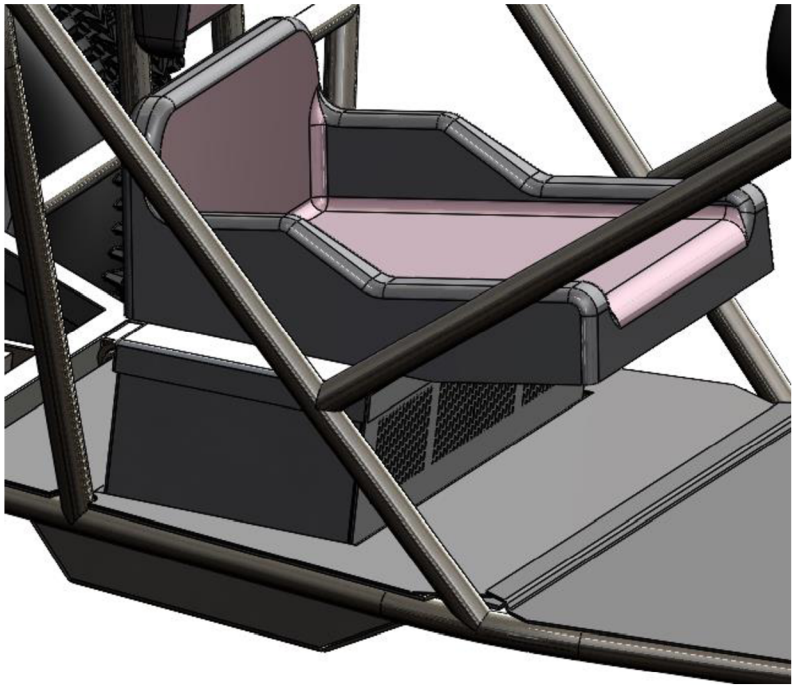
Sedačka se bude skládat ze dvou částí. Opěradlo sedačky je přichyceno k nosným tyčím hlavního oblouku šrouby. Sedací část je připevněna k nosné konstrukci rámu (obr. 43). Řidič bude ve výšce přibližně 10 cm nad podlahou.



Obrázek 43: Rám pro uchycení sedačky

V prvotním návrhu bylo počítáno s tím, že spodní část sedačky bude připevněna k boxu na baterie (obr. 44). Vzhledem k velikosti baterií, však bylo od tohoto návrhu ustoupeno a rozhodnuto, že sedačka bude umístěna na nosnou konstrukci, která je součástí rámu. V případě, že by se box s bateriemi nacházel pod sedadlem, musel by být vyroben koš, buď

v rámci rámu, nebo samostatný plechový díl. Tím by však došlo ke snížení světlé výšky vozidla a z toho důvodu bylo rozhodnuto pro umístění baterií za sedačku řidiče.



Obrázek 44: Umístění boxu baterií pod sedadlem

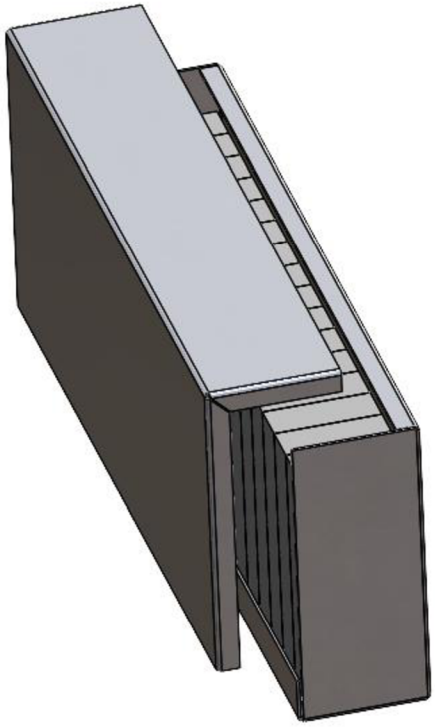
Sestava sedačky bude vyrobena z plastu, konkrétně z materiálu polyethylen. Jedná se o termoplast, který je možné tvarovat za vyšších teplot. Hlavní výhodou tohoto materiálu je výborná zpracovatelnost, zdravotní nezávadnost a dlouhá životnost.

Výroba sedačky může být provedena takzvaným vyfukováním, kdy dochází k tvarování ve vyfukovací formě pomocí tlaku vzduchu do daného tvaru. Stejným způsobem může být zhotovena i kapota vozidla. Kapota bude opatřena dírami pro šrouby se zahloubením pomocí, kterých bude připevněna k rámu. V přední části kapoty je vyříznutá díra, kterou bude procházet tyč volantu.

Mezi další příslušenství vozidla může patřit provazová síť, která bude sloužit k zakrytí dalších částí rámu.

Podlaha vozidla je pokryta vzorovaným plechem o síle 3 mm. Skládá se ze dvou částí lichoběžníkových tvarů, které jsou spojeny na příčné výztuze základny rámu. Podlaha bude k rámu připevněna pomocí nýtů.

Na zadním plechu bude umístěn box (obr. 45), který bude obsahovat akumulátory napájení. Pro zamezení pohybu baterií v boxu je box vyložen pryžovými pláty. Tento box bude vyhotoven z ohýbaného a svářeného plechu z hliníkové slitiny o tloušťce 2 mm. Stejný plech bude použit i na víko boxu.



Obrázek 45: Pohled do boxu s akumulátory

Některé komponenty příslušenství je možné opět nakoupit. Jedná se především o samotnou sedačku, či provazové sítě na zakrytí vozidla.

5 NÁVRH POHONNÉHO SYSTÉMU

Pohonem buggy je elektromotor, který bude napájen bateriemi. Elektromotor je uložen na zadní nápravě za sedačkou řidiče. Akumulátory jsou uloženy v boxu za sedačkou řidiče (obr. 46).

Obrázek 46: Umístění boxu akumulátorů a elektromotoru

5.1 NÁVRH ELEKTROMOTORU

Požadovaný výkon elektromotoru je 1 kW. Na základě tohoto požadavku byl vybrán DC motor s permanentními magnety (obr. 47). Jmenovité napětí, které je potřeba na jeho provoz je 48 V a jmenovitý proud 28 A. Na základě těchto informací byly zvoleny baterie. Maximální otáčky motoru jsou 3 000 min^{-1} [33; 34]. Hmotnost elektromotoru je přibližně 5 kg.

Obrázek 47: Elektromotor 1 000 W 48 V [34]

Ovládání elektromotoru může být provedeno pomocí potenciometru, nebo jednoduchou PWM pulsní regulací. Potenciometr bude připojen k plynovému pedálu. Vzhledem k tomu, že součástí vybavení buggy může být i další elektronika bude využito řídící jednotky, která bude elektromotor ovládat na základě signálů z potenciometru pomocí PWM pulsní regulace.

Řídící jednotka (obr. 48) byla zvolena pro bezkartáčové motory o výkonu 1 000 W a 48 V. Její jmenovité napětí je 42 V a jmenovitý proud 35 A [35]. K této jednotce, bude připojen potenciometr, napájecí kabely motoru, přívodní kabel baterie, hlavní vypínač a přepínač směru jízdy. V případě potřeby je možné připojit ještě tachometr, ukazatel stavu baterie, popřípadě dálkové ovládání. Prvotní úlohou řídící jednotky bude regulace otáček motoru.

Obrázek 48: Řídící jednotka [35]

Elektromotor bude připevněn na zadní nápravu pomocí držáku, který je jeho součástí. Řídící jednotka bude uložena v blízkosti motoru a baterií.

Převod výkonu na zadní nápravu bude proveden pomocí řetězu. Součástí motoru je řetězové kolečko o 11 zubech určených pro řetěz 25 H. Na hřídel zadní nápravy bude navařena příruba s dírami pro šrouby, pomocí kterých bude přichyceno kolo převodu. Kolo převodu bude mít 55 zubů.

5.1.1 VÝPOČET RYCHLOSTI

Výpočet rychlosti je uskutečněn ze známých parametrů průměru kola, maximálních otáček motoru a převodového poměru mezi pastorkem na elektromotoru a kolem na hnacím hřídeli zadní nápravy.

Převodový poměr je vypočten ze známého počtu zubů na pastorku a kole. Počet zubů pastorku je 11 a počet zubů na kole je 55. Převodový poměr tedy činní:

$$i = \frac{z_k}{z_p} \tag{7}$$

$$i = \frac{55}{11} = 5$$

i [-] …. převodový poměr na hnací hřídel
z_k [-] … počet zubů kola
z_p [-] … počet zubů pastorku

Díky vypočtenému převodovému poměru lze spočítat otáčky hnací hřídele.

$$i = \frac{n_{motoru}}{n_{hřídel}} \tag{8}$$

$$n_{hřídel} = \frac{n_{motor}}{i} \tag{9}$$

$$n_{hřídel} = \frac{3\,000\ min^{-1}}{5} = 600\ min^{-1}$$

i [-] … převodový poměr na hnací hřídel
$n_{hřídel}$ [min^{-1}] … otáčky hnacího hřídele
n_{motor} [min^{-1}] … otáčky motoru

Z důvodu dalších výpočtů je výsledek převeden na otáčky za sekundu.

$$n_{hřídel} = \frac{600\ min^{-1}}{60} = 10\ s^{-1}$$

Na buggy budou použity pneumatiky 145/70-8“, které jsou vhodné do terénu. Průměr pneumatiky je dán průměrem ráfku, který je uveden v palcích, a šířkou pneumatiky, která je dána jako procento šířky pneumatiky. Průměr kola je tedy 406 mm.

Díky známému průměru lze rychlost vozidla vypočítat dle vzorce:

$$v_B = o \cdot n_{hřídel} \tag{8}$$

$$v_B = \pi \cdot D \cdot n_{hřídel} \tag{9}$$

$$v_B = \pi \cdot 406 \cdot 10^{-3}\ m \cdot 10\ s^{-1} = 12{,}75\ m \cdot s^{-1}$$

$$v_B = 12{,}75\ m \cdot s^{-1} \cdot 3{,}60 = 45{,}92\ km \cdot h^{-1}$$

v_B [m·s^{-1}] … rychlost vozidla
o [m] … obvod pneumatiky
D [m] … průměr pneumatiky
$n_{hřídel}$ [s^{-1}] … otáčky hřídele

Teoretická rychlost vozidla by měla činit přibližně 45 km · h^{-1}. Tato rychlost bude použita při výpočtu hnacího výkonu, který je potřeba k provozu vozidla.

5.1.2 POTŘEBNÝ HNACÍ VÝKON

K ověření možnosti rozjezdu buggy je potřeba určit síly, které působí proti pohybu vozidla. Proti pohybu působí mnoho odporových sil. Některé z nich je však možné zanedbat. Pro výpočet síly odporu proti pohybu bude stačit valivý odpor a aerodynamický odpor.

VÝPOČET VALIVÉHO ODPORU

Valivý odpor vzniká na kontaktu pneumatiky s vozovkou. Z tohoto důvodu závisí na povrchu vozovky, tlaku v pneumatice, rychlosti vozidla a na konstrukci pneumatiky. Pro výpočet valivého odporu je potřebné vědět koeficient valivého odporu, který je dán pro daný povrch. Buggy se bude převážně pohybovat v terénu. Relevantní hodnota odpovídající mokré polní cestě, nebo travnatému povrchu, je v rozmezí 0,08 – 0,20 pro polní cestu a 0,08 – 0,15 pro travnatý terén [36]. Pro potřeby výpočtu byla hodnota součinitele valivého odporu zvolena 0,1.

Dále je potřeba zjistit celkovou hmotnost vozidla, která bude brána včetně hmotnosti řidiče. Optimální váha řidiče v sedmi letech je 24 kg, protože je možné, že buggy bude využívána i staršími dětmi bude počítáno s hmotností řidiče 30 kg. Hmotnost jednoho článku baterie je uvedena v tabulce Základních parametry článků baterie (Tabulka 17), přičemž těchto článků bude použito šestnáct.

$$m_c = m_{voz} + m_{ř} + 16 \cdot m_b + m_{el} \tag{10}$$

$$m_c = 112\ kg + 30\ kg + 16 \cdot 0{,}7\ kg + 5\ kg = 158{,}20\ kg$$

m_c [kg] … celková hmotnost vozidla včetně řidiče
m_{voz} [kg] … hmotnost vozidla
$m_{ř}$ [kg] … hmotnost řidiče
m_b [kg] … hmotnost akumulátoru
m_{el} [kg] … hmotnost elektromotoru

Celková hmotnost buggy s řidičem činní 158 kg. Vzorec na výpočet valivého odporu je následující [36]:

$$F_{rr} = F_G \cdot c_r \tag{11}$$

$$F_{rr} = m_c \cdot g \cdot c_r \tag{12}$$

$$F_{rr} = 158{,}20\ kg \cdot 9{,}81\ m \cdot s^{-2} \cdot 0{,}1 = 155{,}19\ N$$

F_{rr} [N] … valivý odpor
F_G [N] … gravitační síla
m_c [kg] … celková hmotnost vozidla včetně řidiče
g [m·s^{-1}] … tíhové zrychlení
c_r [-] … koeficient valivého odporu

VÝPOČET AERODYNAMICKÉHO ODPORU

Aerodynamická síla závisí na rychlosti pohybu, vlastností prostředí a tvaru tělesa. Skládá se ze tří složek. Důležitá složka pro tento výpočet je aerodynamický odpor, který působí proti vzájemnému pohybu. Aerodynamický odpor je možné vyjádřit takto [36]:

$$F_{ar} = \frac{1}{2} \cdot c_d \cdot \rho \cdot S \cdot {v_B}^2 \tag{13}$$

F_{ar} [N] … aerodynamický odpor
c_d [-] … koeficient aerodynamického odporu
ρ [kg·m^{-3}] … hustota vzduchu

v_B [m·s^{-1}] … rychlost vozidla
S [m^2] … čelní plocha vozidla

Koeficient aerodynamického odporu vyjadřuje velikost odporu vzduchu vůči obtékanému tělesu. V případě závodních vozů s nekrytými koly se pohybuje hodnota koeficientu v rozmezí 0,4 a 0,6 [36] v závislosti na čelní ploše vozu.

Čelní plocha vozidla byla zjištěna z modelu vozidla průmětem na rovinu vytvořenou za vozidlem. Plocha činní přibližně 0,8 m^2, což znamená, že koeficient odporu vzduchu je přibližně 0,45. Velikost síly aerodynamického odporu je tedy:

$$F_{ar} = \frac{1}{2} \cdot 0{,}45 \cdot 1{,}29\ kg \cdot m^{-3} \cdot 0{,}80\ m^2 \cdot (12{,}75\ m \cdot s^{-1})^2 = 37{,}75\ N$$

VÝPOČET HNACÍHO VÝKONU

Potřebný výkon bude zjištěn na základě celkové hnací síly, která je potřeba k pohybu vozidla. Tato síla se skládá z valivého odporu a aerodynamického odporu. Jedná se o zjednodušený výpočet, kde nejsou zahrnovány další síly, které na vozidlo působí.

$$F_H = F_{rr} + F_{ar} \tag{14}$$

$$F_H = 155{,}19\ N + 37{,}75 = 192{,}94\ N$$

F_H [N] … hnací síla
F_{rr} [N] … valivý odpor
F_{ar} [N] … aerodynamický odpor

Hnací výkon je možno vyjádřit pomocí vzorce:

$$P_H = F_H \cdot v_B \tag{15}$$

P_H … hnací výkon
F_H [N] … hnací síla
v_B [m·s^{-1}] … rychlost vozidla

Potřebný hnací výkon vypočten pomocí odporových sil, které je nutné překonat je roven:

$$P_H = 192{,}94\ N \cdot 12{,}75\ m \cdot s^{-1} = 2\ 459{,}99\ W$$

Z výpočtu je zřejmé, že pro překonání odporových sil je potřeba silnějšího motoru. Pokud by byl zachován stávající motor, rychlost vozidla by se pohybovala kolem 20 km·h^{-1}.

5.2 NÁVRH AKUMULÁTORU

K napájení elektromotoru je potřeba baterií. Ty musí odpovídat požadavkům motoru, což znamená, že musí dodávat minimální jmenovitý proud 28 A a jmenovité napětí 48 V. Baterie mohou být sestaveny z jednotlivých článků nebo použito již připravených baterií například do elektrokol, či koloběžek.

Akumulátory, nebo celé baterie, lze propojit mezi sebou sériově, či paralelně. Při sériovém zapojení baterií dochází ke sčítání napětí, ale proud zůstává stejný. Paralelní zapojení umožňuje

zvýšení procházejícího proudu, při stejném napětí. Tyto dvě zapojení umožní získání baterií o napětí 48 V, které dokáží poskytnout proud 28 A.

Vzhledem k výdrži a spolehlivosti baterie budou použity bateriové články ELERIX EX-L25. Tyto články jsou vyrobeny z LiFePO4. Jedná se o trakční baterie, které je možné použít pro napájení elektromotorů.

Základní parametry článků akumulátoru		
Hmotnost	m_b [kg]	0,7
Výška	z_b [mm]	165
Šířka	y_b [mm]	70
Hloubka	x_b [mm]	27
Napětí	U_b [V]	3,2
Kapacita	I_k [Ah]	25
Optimální vybíjecí proud	I_{opt} [A]	25
Maximální stálý vybíjecí proud	I_{max} [A]	60
Optimální nabíjecí proud	I_{optn} [A]	25

Tabulka 19: Základní parametry bateriového článku [37]

Ze základních parametrů baterie je zřejmé, že akumulátory budou muset být propojeny mezi sebou sériově, aby bylo dosaženo napětí 48 V. Počet baterií bude vypočten následovně:

$$n = \frac{U_c}{U_b} \tag{16}$$

$$n = \frac{48\ V}{3{,}2\ V} = 15$$

n [-] … množství potřebných baterií
U_c [V] … celkové potřebné napětí
U_b [V] … napětí jedné baterie

Vzhledem k tomu, že každá baterie má svůj odpor je lepší přidat baterii navíc. To znamená 16 bateriových článků. Celkové nominální napětí je tedy:

$$U_n = n \cdot U_b \tag{17}$$

$$U_n = 16 \cdot 3{,}2\ V = 51{,}20\ V$$

U_n [V] … nominální napětí
n [-] … potřebné množství akumulátorů
U_b [V] … napětí jedné baterie

Pro následující výpočty bude používáno celkové napětí baterie, které činí 48 V.

Kapacita baterie i po zapojení do série zůstává stejná a to 25 Ah. Celková energie v Wh je vypočtena pomocí vzorce výkonu:

$$P_E = U_c \cdot I_k \tag{18}$$

$$P_E = 48\,V \cdot 25\,Ah = 1\,200\,Wh$$

P_E [Wh] … celková energie baterie
U_c [V] … celkové potřebné napětí
I_k [Ah] … kapacita baterií

Při výběru baterie bylo přihlíženo i k maximální době jízdy na plný výkon. Maximální výkon elektromotoru je 1 kW. Ze známého napětí a kapacity je možné spočítat maximální dobu jízdy. Nejprve je potřeba zjistit potřebný proud.

$$P_M = U_c \cdot I_P \tag{19}$$

$$I_P = \frac{P_M}{U_c}$$

$$I_P = \frac{1\,000\,W}{48\,V} = 20{,}83\,A$$

P_M [W] … výkon elektromotoru
U_c [V] … celkové potřebné napětí
I_P [A] … potřebný proud

Vypočtený proud odpovídá proudu, který je nutné dodávat elektromotoru, aby bylo možné jet na plný výkon. Akumulátor, který byl vybrán může poskytovat optimálně 25 A a méně. Z tohoto důvodu jsou tyto baterie vyhovující.

Na základě spočteného maximálního proudu vypočteme maximální dobu jízdy na plný výkon. Při výpočtu bylo vycházeno ze známé hodnoty kapacity baterie, což je 25 Ah.

$$t = \frac{I_k}{I_P} \tag{20}$$

$$t = \frac{25\,Ah}{20{,}83\,A} = 1{,}20\,h$$

t [h] … doba jízdy
I_k [Ah] … kapacita baterií
I_P [A] … potřebný proud

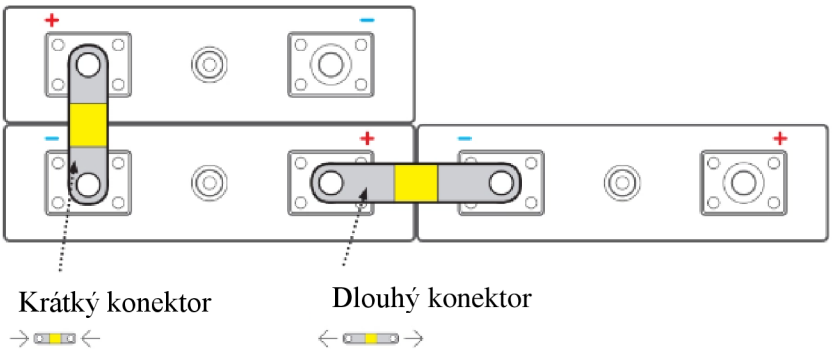
Vozidlo bude schopné jet na maximální výkon přibližně po dobu 1,2 hodiny. Jedná se však o případ s ideálními podmínkami. Elektromotor má daný jmenovitý proud 28 A, kde je počítáno i s odpory a ztrátami. Doba jízdy je poté:

$$t = \frac{25\,Ah}{28\,A} = 0{,}89\,h$$

Maximální doba jízdy bude odpovídat přibližně 50 minutám.

5.2.1 PŘÍSLUŠENSTVÍ BATERIÍ

Baterie budou propojeny pomocí konektorů (obr. 49), které musí být vybrány tak, aby byly s daným článkem kompatibilní. Existují dvě varianty těchto konektorů, které pasují přímo na ELERIX EX-L25. Jedná se o krátký a dlouhý konektor.



Obrázek 49: Možnost zapojení baterií

V tomto případě bude využito krátkého konektoru. Celkový rozměr spojených baterií je:

$$27\ mm \cdot 16 = 432\ mm$$

Akumulátory budou uloženy v boxu, který se nachází za sedadlem řidiče. Box bude vyroben ze dvou částí, úložného prostoru a víka. Na víku bude umístěn hlavní vypínač. Velikost boxu je dána rozměrem baterií, to znamená, že minimální délka je 432 mm. Vzhledem k tomu, že se do boxu musí vejít i vodiče a další elektronika box má na délku 460 mm, na šířku 88 mm a na výšku 203 mm.

Vzhledem k tomu, že dochází k propojení baterií je důležité hlídat jejich nabíjecí a vybíjecí proud, teplotu a další parametry. Jako kontrola těchto parametrů se používá BMS nebo CPM. Obě tyto zařízení jsou schopny odpojit akumulátor v případě jakéhokoliv problému nebo celkové vypnutí systému. BMS je pokročilejší verze, kdy je možné sledovat více věcí než v případě CPM. V dnešní době se často využívá kontroly pomocí Bluetooth přes mobilní aplikace.

V případě navrhované buggy bude využito CPM. Jedná se o zařízení, které je schopné ochraňovat $LiFePO_4$ baterie před nadměrným vybitím nebo přebitím [38]. Má velmi nízkou vlastní spotřebu energie, což je velkou výhodou. Mezi hlavní funkce patří i volba dolních mezí napětí článků, a to bez nutnosti programování. K tomuto zařízení je možné připojit až šestnáct baterií.

Nabíjení je potřeba přizpůsobit daným parametrům baterie. Nabíječka by měla mít napětí 48 V a optimální nabíjecí proud 25 A. Pokud bude nabíjecí proud nižší bude se baterie nabíjet déle. Při nabíjení proudem 25 A bude baterie nabitá přibližně za jednu hodinu.

6 CENOVÝ ODHAD

Cena elektrické buggy se převážně odvíjí od použitého materiálu, výroby komponent, použitého elektromotoru a příslušenství, a hlavně použitých baterií. Baterie jsou jednou z nejdražších záležitostí na celé výbavě vozidla. Navíc se jedná o komponentu, která zvyšuje hmotnost vozidla a z toho důvodu je ve většině případů potřebný silnější motor.

6.1 MATERIÁL RÁMU

Materiál rámu byl vybrán s ohledem na jeho pevnost a tuhost a také jeho dostupnost a cenu. Jedná se o trubky průměru 25 mm a tloušťce stěny 2 mm. Cena za 1 kg trubek se pohybuje kolem 55,- Kč. Při hmotnosti rámu 35,5 kg celková cena trubek vychází na 1 953,- Kč.

6.2 MATERIÁL PODLAHY

Podlaha bude vyráběna z plechu s vystouplým vzorem. Tloušťka plechu bude bez výstupků 2 mm. Výstupky budou mít velikost 1,5 mm, což znamená, že celková výška plechu bude činit 3,5 mm. Cena za 1 kg tohoto plechu je přibližně 172 Kč. Podlaha váží kolem 4 kg, cena bude tedy 688,- Kč.

6.3 CENA PEDÁLOVÉ SESTAVY

V případě vyráběné pedálové sestavy budou náklady na materiál záviset na zvolené konstrukci. Pokud bude pedálová soustava podvěšena, tak přibližná cena materiálu sestavy bude 180,- Kč. Je počítáno s cenou cca 45,- Kč za 1 kg. Pedálová sestava, která je upevněna na podlaze bude přibližně stát 36,- Kč. Cena potenciometru plynového pedálu je přibližně 387,- Kč [39].

Pokud by byly pedály kupované, tak pro pedál na podlahu se cena pohybuje kolem 600,- Kč za kus [40]. Pro pedál, který by byl podvěšen je přibližná cena 500,- Kč [41].

6.4 SEDADLO ŘIDIČE

Sedadlo pro řidiče je možné najít v různých typech. Ty nejjednodušší se pohybují kolem 1 000,- Kč. Tyto sedadla však nemají hlavovou opěrku. Sedadlo, které by se více hodilo pro účely daného vozidla se cenově pohybuje kolem 4 500,- Kč [42]. Jedná se většinou o sedačky určené do crosskart a offroad vozidel. Náklady na materiál a výrobu sedačky by byly relativně vysoké z tohoto důvodu je lepší sedadlo koupit již hotové.

6.5 ŘÍZENÍ

Řízení se skládá z hřídelí, na kterých budou připevněny kardanové klouby, volant a pojistné kroužky. Kardanové klouby je možné zakoupit přibližně za 340,- Kč za kus [43]. Cena volantu je cca 1 500,- Kč [44] a je možné k němu přikoupit rychloupínací náboj za 707,- Kč [45]. Rychloupínací náboj není do nákladů započten.

Samotné hřídele budou stát 105,- Kč. Upínací kroužky vyjdou na 42,- Kč za kus, přičemž potřeba jsou dva. Třetí upínací kroužek, který slouží i jako příruba bude vyráběn a jeho cena je cca 21,- Kč. Kluzná pouzdra budou stát cca 110,- Kč za kus [46]. Cena řízení je 2 610,- Kč.

6.6 BOX S BATERIEMI

Box baterií je vyroben z hliníkové slitiny. Hmotnost boxu je přibližně 2 kg. Při ceně plechu 49,- Kč za 1 kg je cena materiálu boxu 98,- Kč.

Cena jedné baterie je 712,- Kč. Celková cena baterií je 11 392,- Kč [37]. Příslušenství baterií v případě, že by bylo bráno ze stejného obchodu, by stálo přibližně 2 500,- Kč za nabíječku, 850,- Kč za konektory a 5 000,- Kč za CPM [47]. Další náklady by padly na kabeláž a případné další příslušenství. Celková cena baterií by činila 19 742,- Kč.

6.7 CENA ELEKTROMOTORU

Elektromotor je možné sehnat přibližně za 2 590,- Kč [34]. Řídící jednotka stojí 1 790,- Kč [35]. K převodu je potřeba rozety, která stojí 229,- Kč [48] a řetězu, které je možné sehnat za 239,- Kč [49], záleží však na jeho délce. Cena elektromotoru s příslušenstvím se pohybuje kolem 4 848,- Kč. Pokud by bylo k motoru přidáno další příslušenství cena by samozřejmě vzrostla.

6.8 SHRNUTÍ

Náklady jsou počítány pouze z cen materiálů hlavních komponent. Další náklady vzniknou nákupem drobných dílců, jakou šrouby, nýty, kabely a tak dále, a také cenou práce. Celková odhadovaná cena materiálu se pohybuje kolem 35 000,- Kč. Cena je odhadována bez přední a zadní nápravy vozidla. Všechny uvedené ceny dílů jsou brány k datu 26.05.2023.

Cenový odhad			
Cena materiálu rámu		[Kč]	1 953
Cena materiálu podlahy		[Kč]	688
Cena sedadla		[Kč]	4 500
Cena řízení		[Kč]	2 610
Cena pedálové sestavy	Podvěšená	[Kč]	567
	Podlahová	[Kč]	423
Cena elektromotoru		[Kč]	4 848
Cena baterie		[Kč]	19 742
Celková cena	Podvěšené pedály	[Kč]	34 908
	Podlahové pedály	[Kč]	34 764

Tabulka 20: Cenový odhad elektrického vozidla pro děti

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo vytvoření koncepčního návrhu terénního vozidla pro děti od tří do sedmi let a konstrukční návrh některých komponent. Při vytváření koncepčního návrhu vznikly dvě možné varianty provedení. První návrh spočívá v konstrukci pedálové sestavy podvěšené na konstrukci rámu. V druhém návrhu jsou pedály na podlaze. V obou případech je počítáno s možnou variabilitou vzdálenosti pedálů od sedačky řidiče. Minimální vzdálenost pedálů od sedadla řidiče se pohybuje kolem 30 cm. Maximální vzdálenost pak cca 60 cm.

Celá konstrukce byla koncipována spíše jako závodní vozidlo, než pro volný čas. Konstrukční návrh bezpečnostního rámu vycházel z Technických pravidel FIA, ale vzhledem k tomu, že se nejedná přímo o návrh závodní buggy nebyla norma dodržena v plném rozsahu. Rám vede nad hlavou řidiče, což byl jeden z požadavků návrhu. Pro ověření bezpečnosti rámu bylo využito simulace v programu ANSYS. Základní podmínky byly nastaveny dle homologačního protokolu FIA. Z výsledků jednotlivých zkoušek je zřejmé, že rám vyhovuje těmto normám. I po ubrání některých výztuh by rám stále vyhovoval.

Výsledky homologační zkoušky				
Parametry	Velikost působící síly	Deformace		
	[N]	Celková	Směrová	Povolená
		[mm]	[mm]	[mm]
Zatížení hlavního oblouku	19 276,65	7,8	-	50
Boční zatížení	8 895,77	15,42	14,93	50
Zatížení předního oblouku	8 895,77	20,39	15,71	100

Tabulka 21: Výsledky homologační zkoušky

Konstrukční návrh příslušenství zahrnuje kromě pedálové sestavy také část sestavy řízení, která vede od volantu ke skříni převodky řízení. Dále pak vznikl návrh výroby sedadla řidiče. Vzhledem k náročnosti a ekonomickému hledisku bylo však rozhodnuto, že sedadlo bude spíše zakoupeno než vyrobeno. Součástí příslušenství je i kapota a další krytí buggy. Nejedná se o závodní buggy, to znamená, že celá konstrukce nemusí být krytovaná. Některé části mohou být zakryty pouze provazovou sítí.

Elektromotor i baterie budou uloženy za sedadlem řidiče. Bylo tak rozhodnuto na základě rozměrů akumulátorů. Jednotlivé články budou uloženy v boxu, který bude sloužit jako jejich ochrana.

Elektromotor byl vybrán bezkartáčový s permanentními magnety, který má výkon 1 kW a maximální otáčky 3 000 min^{-1}. V případě ideálních podmínek by buggy měla být schopná jízdy o maximální rychlosti 45 $km \cdot h^{-1}$. Vzhledem k odporovým silám, však není tato rychlost reálná. K dosažení této rychlosti by bylo nutné silnějšího motoru.

Akumulátory, které byly pro danou buggy zvoleny jsou vhodné pro dodávání optimálního elektrického proudu 25 A. Elektromotoru je nutné dodávat proud 28 A. Vzhledem k tomu, že akumulátory jsou schopné dodávat max 60 A je možné je použít. Protože je proud o něco vyšší, než optimální vybíjecí proud akumulátorů budou se vybíjet o něco rychleji, nedojde však k jejich poškození. Maximální doba jízdy by se měla pohybovat kolem jedné hodiny.

Základní parametry elektrického terénního vozidla pro děti			
Hmotnost		*m* [kg]	112
Celkové rozměry	Délka	*x* [mm]	2 020
	Šířka	*y* [mm]	1 514
	Výška	*z* [mm]	1 360
Výkon		*P* [W]	1 000
Baterie	Napětí	*U* [V]	48
	Kapacita	*I* [Ah]	25
Doba jízdy		*t* [h]	1
Cena navržených komponent		[Kč]	Od 34 764,-

Tabulka 22: Základní rozměry vozidla

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

[1] Autocross: Začínáme s motorsportem. In: *Autoklub* [online]. Praha: Autoklub České republiky, 2015 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: https://zaciname.autoklub.cz/autocross/

[2] Příloha J: Bezpečnostní výbava pro vozy typu N, A (a rozšíření) a R-GT. *FEDERATION INTERNATIONALE DE L'AUTOMOBILE* [online]. 2022, (253), 9 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: https://www.autoklub.cz/wp-content/uploads/2023/01/253-mix-23.pdf

[3] SEDLÁŘ, Jiří. *Bezpečnostní rám závodního vozu*. Brno, 2010. Diplomová práce. Vysoké učení technické Brno. Vedoucí práce Ing. Ondřej Blaťák.

[4] PETRŽELA, Pavel. *Návrh rámu pro vozidlo BUGI*. Pardubice, 2017. Diplomová práce. Univerzita Pardubice.

[5] GEL auto-moto baterie a nabíječky. In: *Portál řidiče* [online]. Pardubice: Portalridice.cz, 2021 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: https://www.portalridice.cz/clanek/gel-auto-moto-baterie-a-nabijecky

[6] Jak funguje baterie?. In: *Mulač* [online]. Plzeň: ANTstudio, 2023 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: https://www.mulac.cz/faq/jak-funguje-baterie.htm

[7] Co jsou AGM auto-moto baterie a jak se nabíjí?. In: *Portál řidiče* [online]. Pardubice: Portalridice.cz, 2021 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: https://www.portalridice.cz/clanek/agm-auto-moto-baterie-a-nabijecky

[8] ASSAD, Mamdouh, Ali KHOSRAVI, Mohammad MALEKAN, Marc ROSEN a Mohammad NAZARI. Chapter 14 - Energy storages. In: *Design and Performance Optimization of Renewable Energy Systems* [online]. 1. Academic Press, 2021, s. 205-219 [cit. 2023-04-25]. ISBN 978-0-12-821602-6. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978012821602600016X

[9] BLUMBERGS, Ervins, Vera SERGA, Ernests PLATACIS, Michail MAIOROV a Andrei SHISHKIN. Cadmium Recovery from Spent Ni-Cd Batteries: A Brief Review. *Metals* [online]. 2021, **11**(11), 1 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.3390/met11111714

[10] Ni-Cd Batteries. In: *Wiley online library* [online]. John Wiley & Sons, Inc., 1999-2023 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781119714774.ch9

[11] Fundamentals of electric motor. In: KIM, Sang-Hoon. *Electric Motor Control: DC, AC, and BLDC Motors* [online]. 1. Amsterdam: Elsevier, 2017, s. 3-8 [cit. 2023-04-26]. ISBN 978-0-12-812138-2. Dostupné z: https://books.google.pl/books?hl=cs&lr=&id=ewKqDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&d

q=dc+electric+motor&ots=owAA315JK1&sig=aKCJxoRbFTNzrVUBkZPToLwoSNA&redir_esc=y#v=onepage&q=dc%20electric%20motor&f=false

[12] HASHEMNIA, N. a B. ASAEI. Comparative study of using different electric motors in the electric vehicles. In: *2008 18th International Conference on Electrical Machines* [online]. Tehran: IEEE, 2008, s. 1-5 [cit. 2023-04-26]. ISBN 9781424417353. Dostupné z: doi:10.1109/ICELMACH.2008.4800157

[13] Sportovní předpisy M ČR, M ČR a ČT v Autocrossu. In: *Autoklub* [online]. Praha: Autoklub České republiky, 2022, s. 22-35 [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: https://www.autoklub.cz/wp-content/uploads/2022/03/ax-standard-22-komplet.pdf

[14] DE ONIS, Mercedes, Adelheid ONYANGO, Elaine BORGHI, Amani SIYAM, Monika BLÖSSNER a Chessa LUTTER. Worldwide implementation of the WHO Child Growth Standards. *Public Health Nutrition* [online]. 2012, **15**(9), 1603-1610 [cit. 2023-04-23]. ISSN 1368-9800. Dostupné z: doi:10.1017/S136898001200105X

[15] DE ONIS, Mercedes. Development of a WHO growth reference for school-aged children and adolescents. *Bulletin of the World Health Organization* [online]. 2007, **85**(09), 660-667 [cit. 2023-04-23]. ISSN 00429686. Dostupné z: doi:10.2471/BLT.07.043497

[16] BUTTE, Nancy, Cutberto GARZA a Mercedes ONIS. Evaluation of the Feasibility of International Growth Standards for School-Aged Children and Adolescents. *The Journal of nutrition* [online]. Bethesda, MD: The American Society for Nutrition, 2007, **137**(1), 153-157 [cit. 2023-04-26]. ISSN 0022-3166. Dostupné z: doi:10.1093/jn/137.1.153

[17] ONIS, Mercedes, Cutberto GARZA, Adelheid ONYANGO a Elaine BORGHI. Comparison of the WHO Child Growth Standards and the CDC 2000 Growth Charts. *The Journal of nutrition* [online]. Bethesda, MD: The American Society for Nutrition, 2007, **137**(1), 144-148 [cit. 2023-04-26]. ISSN 0022-3166. Dostupné z: doi:10.1093/jn/137.1.144

[18] Mamido Toys: O nás. In: *Mamido Toys* [online]. Albrechtice: Mamido Toys, 2023 [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: https://www.mamido.cz/o-nas/

[19] Havel Buggy. In: *Havel Buggy* [online]. Velké Meziříčí: Havel s.r.o., 2010 [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: http://havel.cz/index.php/main_controller/onas

[20] Hecht: O společnosti. In: *Hecht: specialista na zahradu* [online]. Tehovec: Hecht.cz, 2023 [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: https://cz.hecht.cz/info/o-spolecnosti

[21] Dětské elektrické auto Buggy SuperStar 4x4 lakované červené. In: *ElektrickéAutíčko.cz* [online]. Český Těšín: ElektrickoAutičko.cz, 2023 [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: https://www.elektrickeauticko.cz/detske-elektricke-auto-buggy-superstar-4x4-lakovane-cervene/

[22] Elektrické autíčko Buggy Turbo 24V 4x200W zelené. In: *ElektrickéAutíčko.cz* [online]. Český Těšín: ElektrickoAutičko.cz, 2023 [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: https://www.elektrickeauticko.cz/elektricke-auticko-buggy-turbo-24v-4x200w-zelene/

[23] Dětská elektrická čtyřkolka BUGGY Racing Bílá. In: *Krajinahracek.cz* [online]. Český Těšín: krajinahracek.cz - R&K Trade, 2013-2021 [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: https://www.krajinahracek.cz/detska-elektricka-ctyrkolka-buggy-racing-bila

[24] Akumulátorová buggy - HECHT 54812 RED. In: *Hecht* [online]. Tehovec: Hecht.cz, 2023 [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: https://cz.hecht.cz/akumulatorova-buggy-hecht-54812-red

[25] Akumulátorová buggy - HECHT 54899 SILVER. In: *Hecht* [online]. Tehovec: Hecht.cz, 2023 [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: https://cz.hecht.cz/akumulatorova-buggy-hecht-54899-silver

[26] Elektro Buggy Sunway Dune 1000W 60V 20AH. In: *Sunway* [online]. Rapotín: Sunway.cz, 2015 [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: https://www.sunway.cz/elektricka-vozitka/883-elektro-buggy-sunway-dune-1000w-60v-20ah.html

[27] Buggy. In: *Havel s.r.o.* [online]. Velké Meziříčí: Havel s.r.o., 2010 [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: http://www.havel.cz/index.php/main_controller/buggy

[28] Beta RS. In: *Hecht* [online]. Velké Meziříčí: Hecht.cz, 2010 [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: http://havel.cz/index.php/main_controller/detail/beta-rs

[29] Beta C. In: *Havel s.r.o.* [online]. Velké Meziříčí: Hecht.cz, 2010 [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: http://havel.cz/index.php/main_controller/detail/beta-c

[30] Beta RSXV. In: *Havel s.r.o.* [online]. Velké Meziříčí: Havel s.r.o., 2010 [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: http://havel.cz/index.php/main_controller/detail/beta-rsxv

[31] Crosskart. In: *Havel s.r.o.* [online]. Velké Meziříčí: Havel s.r.o., 2010 [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: http://havel.cz/index.php/main_controller/detail/crosskart

[32] *ČSN EN 10025-2: Přehled vlastností oceli S235JR*. 2. Praha: Česká Agentura pro Standardizaci, 2020.

[33] ELEKTROMOTOR 1000W 48V S DRŽÁKEM, 25H. In: *ESELL* [online]. Votice - Beztahov: ESELL s.r.o., 2003-2023 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: https://www.esell.cz/produkt/elektromotor-1000w-48v-s-drzakem

[34] ELEKTROMOTOR 1000W 48V S DRŽÁKEM, 25H. In: *Minibike shop* [online]. Volyně: Minibike-Shop.cz, 1992 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: https://www.minibike-shop.cz/nahradni-dily-elektricke-kolobezky/2252-elektromotor-1000w-48v-25h.html

[35] ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA PRO ELEKTRICKÉ ČTYŘKOLKY 1000W48V. In: *Minibike shop* [online]. Volyně: Minibike-Shop.cz, 1992 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z:

https://www.minibike-shop.cz/1326-ridici-jednotka-pro-elektricke-ctyrkolky-1000w48v.html

[36] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel: jízdní odpory, hnací charakteristika, brzdění, odpružení, řiditelnost, ovladatelnost, stabilita*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000, 434 s. : il. ; 23 cm. ISBN 80-238-5273-6.

[37] Elerix EX-L25. In: *GWL* [online]. Praha: GWL a.s, 2003-2023 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: https://files.gwl.eu/inc/_doc/attach/StoItem/8219/221017_datasheet_baterie_EX-L25_2.pdf

[38] GWL - CPM: datasheet. In: *GWL* [online]. Praha: GWL.eu, 2023 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: https://files.gwl.eu/inc/_doc/attach/StoItem/7077/GWL_CPM_datasheet_CZ.pdf

[39] Snímač polohy plynového pedálu Akusan BPD-VO-023. In: *Allegro* [online]. Allegro, 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://allegro.cz/nabidka/snimac-polohy-plynoveho-pedalu-5-pin-cerny-pros-13312156860?utm_feed=712e6653-4749-4512-b084-b6e297fc9e0b&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=CZ%3EAuto%3ECars%3E3P%3EPMAX&ev_campaign_id=20035717888&gclid=CjwKCAjw36GjBhAkEiwAKwIWycmumIWxHJBpHIuexfyW9WTnvgcPFVaA0gXf_YYEggYjLgZMp0eSEBoCp8sQAvD_BwE

[40] Rychlostní pedály, ovládání plynu vozidla brzdový nožní pedál e-bike go kart atv off-road. In: *Fruugo* [online]. Fruugo.com, 2006-2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://www.fruugo.cz/rychlostni-pedaly-ovladani-plynu-vozidla-brzdovy-nozni-pedal-e-bike-go-kart-atv-off-road/p-117373729-246547337?language=cs&ac=KelkooCSS&asc=pmax&gclid=CjwKCAjw36GjBhAkEiwAKwIWyRxc7yjPUmW-mJa_Qktf0CiaIZYgBM8YM5Lkl-KZRNCIZLy_l-9e-xoCWtoQAvD_BwE

[41] FEBI BILSTEIN Akcelerační pedál. In: *AUTODOC* [online]. kamiony.autodoc.cz, 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://kamiony.autodoc.cz/febi-bilstein/1866036?gshp=1&gclid=CjwKCAjw36GjBhAkEiwAKwIWyd6df0aE0rcSAL09AzbCBDtkaIhOpLBhDfb3S676RToawgfsQmVQaRoC0jQQAvD_BwE

[42] Závodní sedačka ProRacing RS7701B skořepinová pevná černá. In: *HPP* [online]. Praha: POSKYTOVATEL.cz, 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://www.highperformanceparts.cz/zavodni-sedacka-proracing-rs7701b-skorepinova-pevna-cerna-plus-bederni-operky.217652?gclid=CjwKCAjw67ajBhAVEiwA2g_jEOi_AjkCvBZh9r4tnuWAbo233Jh8LKqKDn2gpAu2xyMG-TJh3qztaRoCD-oQAvD_BwE

[43] Kloub, vřeteno řízení NTY SKK-KA-003. In: *ATS Trutnov* [online]. Trutnov: Nextis.cz, 2009-2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://eshop.atstrutnov.cz/cs/katalog/detail-zbozi/kloub-vreteno-rizeni/nty/skk-ka-

003/16567861/?gclid=Cj0KCQjwt_qgBhDFARIsABcDjOcZRf6rtOd8vir4tVnp-g8zT-5bEL299bwNuQAzf1jNhB5KYr6ve0gaAtuYEALw_wcB

[44] 3 RAMENNÝ VOLANT RRS. In: *Race-shop* [online]. Košice: race-shop, 2022 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://race-shop.cz/volanty/92540-3-ramenny-volant-rrs-simili-350mm-eko-kuze-65mm-odsazeni.html?gclid=CjwKCAjwue6hBhBVEiwA9YTx8CefC-0O9jP5PFxBFI0rEo2rsociyvu_Lj8GGIZMi06N-c1o0U_AehoCHvMQAvD_BwE

[45] RÝCHLOUPÍNACÍ NÁBOJ PRO 6 DÍROVÝ VOLANT. In: *Race-shop* [online]. Košice: race-shop, 2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: https://race-shop.cz/naby-na-volant/3463-rychloupinaci-naboj-pro-6-dirovy-volant.html

[46] SKF PPMF 202311.5 Přírubové polyamidové kluzné pouzdro PTFE. In: *Mateza* [online]. Brno: Mateza, 1991-2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://www.mateza.cz/e-shop/kluzne-pouzdro-skf-ppmf-202311-5

[47] ELERIX Cell Performance Monitor. In: *GWL* [online]. Praha: GWL a.s, 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://shop.gwl.eu/Battery-Management/ELERIX-Cell-Performance-Monitor-1.html

[48] Rozeta 114 mm 55 zubů 25H. In: *Ultimate racing* [online]. Votice: Ultimate racing, 2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: http://www.ultimateracing.cz/p_info/9650-rozeta-114-mm-55-zubu-25h/

[49] ŘETĚZ SE SPOJKOU- 144 ČLÁNKŮ. In: *Minibike shop* [online]. Volyně: Minibike-Shop.cz, 2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: https://www.minibike-shop.cz/1001-retez-se-spojkou-144-clanku.html

[50] Princip stejnosměrných motorů. In: *Elektrika* [online]. Brno: Elektrika.info s.r.o., 1998-2023 [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: https://elektrika.cz/obr/08_principstejnostimotoru_01v.jpg

[51] What is 3 Phase Induction Motor?: Diagram, working and types. In: *ElecticalWorkbook* [online]. WordPress [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: https://electricalworkbook.com/three-phase-induction-motor/

[52] Training course on child growth assessment: Boy's Growth Record. In: *World Health Organization* [online]. Geneva: WHO, 2022, s. 37-38 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43601/9789241595070_BoysGrowth_eng.pdf?sequence=9&isAllowed=y

[53] Training course on child growth assessment: Girl's Growth Record. In: *World Health Organization* [online]. Geneva: WHO, 2022 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43601/9789241595070_GirlsGrowth_eng.pdf?sequence=10&isAllowed=y

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AC		Alternating Current
AGM		Absorb Glass Mat
BMI		Body Mass Index
c_d	[-]	Koeficient aerodynamického odporu
CDC 2000		Centers for Disease Control and Prevention
c_r	[-]	Koeficient valivého odporu
D	[m]	Průměr pneumatiky
DC		Direc Current
EVA		Etylen-vinylacetát
F_{ar}	[N]	Aerodynamický odpor
F_{BO}	[N]	Síla zatěžující rám – zkouška bočního zatížení
F_{BP}	[N]	Síla zatěžující rám – zkouška zatížení předního oblouku
F_G	[N]	Gravitační síla
F_H	[N]	Hnací síla
F_{HO}	[N]	Síla zatěžující rám – zkouška zatížení hlavního oblouku
FIA		Federation Internationale de I‘Automobile
F_{rr}	[N]	Valivý odpor
g	[m·s^{-2}]	Gravitační zrychlení - 9,81 m·s^{-2}
H_2SO_4		Kyselina sírová
I	[Ah]	Kapacita
i	[-]	Převodový poměr na hnací hřídel
I_k	[Ah]	Kapacita akumulátoru
I_{max}	[A]	Maximální vybíjecí proud
I_{opt}	[A]	Optimální vybíjecí proud
I_{optn}	[A]	Optimální nabíjecí proud
I_p	[A]	Potřebný proud
$LiFePO_4$		Fosforečnan železo-litný
Li-on		Lithium-iontový
m	[kg]	Hmotnost
m_b	[kg]	Hmotnost akumulátoru
m_c	[kg]	Celková hmotnost vozidla včetně řidiče
m_{el}	[kg]	Hmotnost elektromotoru

$m_ř$	[kg]	Hmotnost řidiče
MSŘ		Motosport řády
m_{voz}	[kg]	Hmotnost vozidla
n	[-]	Potřebný počet akumulátorů
$n_{hřídel}$	[s^{-1}]	Otáčky hnací hřídele
Ni-Cd		Nikl-kadmiový
n_{motor}	[min^{-1}]	Otáčky motoru
o	[m]	Obvod pneumatiky
P	[W]	Výkon
p_{BO}	[Pa]	Tlak působící na trn – zkouška bočního zatížení
p_{BP}	[Pa]	Tlak působící na trn – zkouška zatížení předního oblouku
P_E	[Wh]	Celková energie baterie
P_H	[W]	Hnací výkon
p_{HO}	[Pa]	Tlak působící na trn – zkouška zatížení hlavního oblouku
P_M	[W]	Výkon motoru
PWM		Pulse width modulation
r	[mm]	Poloměr zaoblení trnu
RB		Racer Buggy
S	[m^2]	Čelní plocha vozidla
SiO_2		Oxid křemičitý
S_{T1}	[m^2]	Plocha trnu – zkouška zatížení hlavního oblouku
S_{T2}	[m^2]	Plocha trnu – zkouška bočního zatížení
S_{T3}	[m^2]	Plocha trnu – zkouška zatížení předního oblouku
t	[h]	Doba jízdy
t_n	[h]	Doba nabíjení
t_t	[mm]	Minimální tloušťka trnu
U	[V]	Napětí
U_b	[V]	Napětí akumulátoru
U_c	[V]	Celkové potřebné napětí
U_n	[V]	Nominální napětí
v	[$km \cdot h^{-1}$]	Maximální rychlost
v_B	[$m \cdot s^{-1}$]	Rychlost vozidla
VRLA		Valve Regulated Lead Acid

WHO		World Health Organization
x	[mm]	Délka
x_b	[mm]	Hloubka akumulátoru
x_t	[mm]	Délka trnu
y	[mm]	Šířka
y_b	[mm]	Šířka akumulátoru
y_t	[mm]	Šířka trnu
z	[mm]	Výška
z_b	[mm]	Výška akumulátoru
z_k	[-]	Počet zubů kola
z_p	[-]	Počet zubů pastorku
ρ	[kg·m^{-3}]	Hustota vzduchu – 1,29 kg·m^{-3}

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha – Modely komponent a sestav návrhu