



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

NÁVRH „CYCLIST/PEDESTRIAN DUMMY“ PLATFORMY PRO TESTOVÁNÍ POKROČILÝCH ASISTENČNÍCH SYSTÉMŮ

DESIGN OF A "CYCLIST/PEDESTRIAN DUMMY" PLATFORM FOR TESTING ADVANCED ASSISTANCE SYSTEMS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JIŘÍ BARTUNĚK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. JOSEF ŠTĚTINA, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Bc. Jiří Bartuněk
Studijní program:	Automobilní a dopravní inženýrství
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	prof. Ing. Josef Štětina, 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:

Návrh „Cyclist/Pedestrian Dummy“ platformy pro testování pokročilých asistenčních systémů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Testování pokročilých asistenčních systémů moderních automobilů není možné bez pohyblivé platformy, která je schopna vést figuríny chodce, dítěte, cyklisty. Moderní testovací platforma by měla být ovládána na dálku a musí vydržet přejetí automobilem.

Cíle diplomové práce:

Rešerše řešení pro testování pokročilých asistenčních systémů.

Konstrukční řešení krytu, který vydrží přejetí osobním automobilem, včetně potvrzení únosnosti výpočtem. Řešení úchytného systému pro figuríny chodce, dítěte, cyklisty, které nesmí klást odpor pro minimalizace škod na vozidle.

Řešení RC podvozku poháněného elektropohonu nejlépe se všemi říditelnými koly.

Finální řešení celé platformy ve formě podkladů pro výrobu testovacího prototypu.

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. Konstruování strojních součástí. 1. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

CROLLA, A. Automotive Engineering: Powertrain, Chassis System and Vehicle Body. Oxford: Elsevier, 2009. ISBN 978-1-85617-577-7.

BENSRHAIR, Abdelaziz a Thierry BAPIN. From AI to Autonomous and Connected Vehicles: Advanced Driver-Assistance Systems (ADAS). 1. New York: Wiley-ISTE, 2021. ISBN 178630727.

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

Cílem této diplomové práce je vytvořit návrh dálkově ovládané platformy, která je určena pro testování pokročilých asistenčních systémů v moderních automobilech. Práce se konkrétně zaměřuje na detailní konstrukci robustního podvozku, poháněného elektrickými motory. Tento podvozek musí být schopen unést různé figuríny, jako jsou chodec, dítě nebo cyklista, a zároveň odolat přejetí vozidlem, což je ověřeno pomocí metody konečných prvků. Práce také zahrnuje vývoj speciálního úchytného systému pro figuríny, který minimalizuje potenciální škody na testovaném vozidle. Výsledkem je kompletní návrh platformy, včetně detailního popisu výběru a integrace elektronických komponentů, poskytující tak komplexní podklady pro výrobu testovacího prototypu. Práce je doplněna také výkresovou dokumentací.

Klíčová slova

ADAS, asistenční systémy, testování, Euro NCAP, MKP, RC

Summary

The aim of this master's thesis is to design a remote-controlled platform for testing advanced assistance systems in modern cars. The work focuses on the detailed construction of a robust undercarriage powered by electric motors. This undercarriage must be capable of carrying various dummies, such as a pedestrian, child, or cyclist, and withstand being overrun by a vehicle, which is verified using the finite element method. The thesis also includes the development of a specialized attachment system for dummies that minimizes potential damage to the tested vehicle. The result is a complete design of the platform, including a detailed description of the selection and integration of electronic components, providing a comprehensive basis for the manufacture of a testing prototype. The thesis is supplemented with drawing documentation.

Keywords

ADAS, Assistance systems, Testing, Euro NCAP, FEM, RC

BARTUNĚK, J. *Návrh „Cyclist/Pedestrian Dummy“ platformy pro testování pokročilých asistenčních systémů.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2023. 110 s. Vedoucí prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

Tímto prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem „Návrh „Cyclist/Pedestrian Dummy“ platformy pro testování pokročilých asistenčních systémů“ vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Josefa Štětiny, Ph.D. Potvrzuji, že jsem řádně citoval všechny použité informační zdroje a literaturu.

Bc. Jiří Bartuněk

Děkuji všem, kteří mi umožnili realizaci této diplomové práce a celého mého dosavadního studia. Velmi si vážím zájmového kroužku Robotárna Helceletova (dříve DDM Junior), který od mládí podporoval můj vztah k technice. Chtěl bych vyslovit zvláštní poděkování vedení, které stále poskytuje mladým lidem prostor pro rozvoj jejich talentu. Rovněž děkuji svým přátelům za jejich podporu a otevřené diskuse, které obohacují mou osobnost v technickém poli. Nemohu zapomenout poděkovat vedoucímu mé diplomové práce za jeho ochotu, trpělivé vedení a cenné poznámky k mé práci. Velký dík patří také mé rodině, která mi poskytla podporu po celou mou dosavadní cestu.

Bc. Jiří Bartuněk

Obsah

1	Úvod	13
1.1	Motivace	13
1.2	Stanovení problému a cíle práce	13
2	Úvod do systémů ADAS	15
2.1	ISO 26262	16
2.2	Druhy ADAS	17
2.2.1	Automatické nouzové brzdění (AEB)	18
2.2.2	Asistent úhybného manévru (ESA)	20
2.2.3	AEB vs ESA	20
2.2.4	Systém detekce chodců	20
2.2.5	Noční vidění	22
3	Testování ADAS	23
3.1	Euro NCAP	23
3.1.1	Figuríny pro testy Euro NCAP	24
3.2	Scénáře testů	25
3.2.1	Scénáře střetu vozidla s chodcem	27
3.2.2	Scénáře střetu automobilu s cyklistou	32
4	Platformy pro testování ADAS	36
4.1	Závěsné portály	36
4.2	Řemenem řízené platformy	37
4.3	Rádiem řízené platformy	40
4.4	Synchronizace pohybu platformy a vozidla	43
5	Koncepční řešení platformy	46
5.1	Rám platformy	46
5.1.1	Rámová konstrukce (body-on-frame)	46
5.1.2	Nosný kryt (monocoque)	46
5.2	Podvozek platformy	48
5.2.1	Motor mimo kolo	48
5.2.2	Motor v kole	48
5.3	Uchycení figuríny	49
5.3.1	Uchycení plastovými šrouby	50
5.3.2	Uchycení pomocí magnetů	50
6	Výběr elektronických a elektrických komponent	51
6.1	Motory	51
6.1.1	Výpočty pro volbu motorů	51
6.1.2	Volba motorů	53
6.2	ESC	54
6.3	Akumulátor	56

OBSAH

6.4	Systém dálkového řízení	60
6.4.1	Telemetrie	61
6.4.2	Přijímač	62
6.4.3	Vysílač	64
6.5	Spínání akumulátorů	65
6.5.1	Stykač	66
6.5.2	Step-down měnič	66
6.5.3	Přepínač	67
7	Konstrukční řešení platformy	69
7.1	Sestava platformy	69
7.1.1	Pryžové obložení	71
7.2	Šachta elektroniky	71
7.3	Akumulátorový box	73
7.4	Ovládací panel	73
7.5	Nosný kryt	75
7.6	Systém odpružení	76
7.6.1	Ověření stlačení	79
7.7	Uchycení figuríny	80
8	Elektrické zapojení	83
9	Analýza metodou konečných prvků	84
9.1	Příprava modelu	84
9.2	Okrajové podmínky	86
9.3	Zátěžové stavy	87
9.4	Vyhodnocení výsledků	90
9.4.1	Maximální napjatost	90
9.4.2	Maximální deformace	91
10	Závěr	94
	Literatura	95
	Seznam obrázků	106
	Seznam tabulek	109
	Seznam příloh	110

1. Úvod

1.1. Motivace

Automobily se staly integrální součástí moderního života. Počet prodaných vozidel po celém světě prudce vzrostl v posledních desetiletích. Například v Evropě se počet registrovaných osobních automobilů zvýšil ze 163 milionů v roce 1990 na 264 milionů v roce 2017 [1]. S tímto nárůstem přišel také rozvoj technologií, především v podobě pokroku v palubní elektronice, včetně mikrokontrolérů. Přesto však dopravní nehody zůstávají hlavní příčinou tragického úmrtí - jen v roce 2019 zemřelo v Evropě při dopravních nehodách přibližně 22800 lidí [2]. Navzdory všem dopravním předpisům se počet smrtelných dopravních nehod výrazně nesnížil.

Automobilový průmysl podniká různé kroky ke zvýšení bezpečnosti cestujících. Mezi tyto kroky patří pokročilé asistenční systémy řidiče (anglicky Advanced Driver Assistant Systems - dále jen ADAS), samořídící automobily a propojené automobily. Systémy ADAS byly zavedeny s cílem pomoci řidičům řídit bezpečně a efektivně. Funkce poskytované systémem ADAS zahrnují varování před čelní srážkou, automatické nouzové brzdění, varování před opuštěním jízdního pruhu, adaptivní tempomat (ACC), elektronickou kontrolu stability atd. Implementace těchto funkcí tak, aby byly splněny všechny funkční a spolehlivostní požadavky stanovené konstruktéry systému, je náročná.

Většina funkcí systému ADAS má zásadní význam pro bezpečnost a měla by být funkční, správně časovaná a především spolehlivá. Právě spolehlivost je hlavním důvodem pro testování asistenčních systémů nově vyrobených aut. Díky praktickým zkouškám na testovací dráze lze otestovat kompletní funkčnost implementovaného systému a to po stránce hardwarové i softwarové. Mimo to se asistenční systémy stále vyvíjejí a jejich testování je nedílnou součástí tohoto procesu. Dříve než je asistenční systém připraven na aplikaci v automobilu a v provozu, musí projít řadou testů které prokazatelně ověří jeho funkčnost a bezpečnost.

Při testování ADAS systémů je klíčové napodobit co možná nejvíce reálnou, krizovou situaci. Z toho důvodu testování probíhá ve venkovních podmínkách testovací dráhy, kdy je do trajektorie testovaného vozidla přiveden předmět simulující chodce, cyklistu či vozidlo. Tyto modely musí být vyrobeny z materiálu který při kolizi co nejméně poškodí testované vozidlo. Zároveň by mělo být možné modely dálkově řídit, měnit jejich rychlost i směr pohybu. K těmto účelům slouží platforma která je schopná simulovat pohyb reálného subjektu a vést ho do dráhy testovaného vozidla.

1.2. Stanovení problému a cíle práce

Potřeba pohybovat modely jako v reálné situaci je základem problematiky této práce:

Navrhnout dálkově ovladatelnou platformu pro testování pokročilých asistenčních systémů, s ohledem na odolnost a bezpečnost.

Práce je zaměřena na návrh platformy pro vedení figuríny chodce, dítěte a cyklisty, tomu jsou přizpůsobeny parametry platformy jako je rychlost a manévrovatelnost. Platforma musí vydržet přejetí testovacím vozidlem bez vážnějšího poškození. Platforma i

1.2. STANOVENÍ PROBLÉMU A CÍLE PRÁCE

mechanismus uchycení figuríny musí být navržen s ohledem na bezpečnost a minimalizaci škod při kolizi s testovaným vozidlem.

Hlavní cíle této práce tedy jsou:

1. Rešerše řešení pro testování pokročilých asistenčních systémů.
2. Konstrukční řešení krytu, který vydrží přejetí osobním automobilem, včetně potvrzení únosnosti výpočtem.
3. Řešení úchytného systému pro figuríny chodce, dítěte, cyklisty, které nesmí klást odpor pro minimalizace škod na vozidle.
4. Řešení RC podvozku poháněného elektropohony nejlépe se všemi říditelnými koly.
5. Finální řešení celé platformy ve formě pokladů pro výrobu testovacího prototypu.

2. Úvod do systémů ADAS

Tato kapitola se zabývá vysvětlením pokročilých asistenčních systémů pro řidiče (ADAS) a popisuje různé způsoby jejich testování. Dále jsou zde rozebrány normy, kterým testování podléhá. Součástí je i přehled současné situace na trhu, včetně výrobců platform pro testování ADAS a jejich produktů.

Podle statistik je **94 %** dopravních nehod způsobeno lidskou chybou [4]. Mnoho z těchto nehod by mohlo být předejito pomocí ADAS. Cílem těchto systémů je snížit počet dopravních nehod a minimalizovat dopady těch, které nelze zabránit, čímž se snižuje počet úmrtí a zranění.

Doslovný význam pojmu „asistenční systém řidiče“ již naznačuje interakci systému s řidičem. Abychom byli konkrétnější, je v podstatě nutné zabývat se různými formami rozdělení úkolů mezi člověka a automatický systém. Dále se rozlišuje mezi „autonomní asistencí“ a „telematikou“¹ nebo mezi konvenčními asistenčními systémy řidiče (ABS, ESC) a systémy se strojovým snímáním prostředí (ACC). V jednotlivých případech může mít další rozdělení význam pro technické posouzení systému, nebo jsou relevantní pro právní posouzení.

Pro potřeby této práce bude výhodné zaměřit se nejdříve na rozdělení asistenčních systémů řidiče a automatizace vozidel, podle míry rozdělení úkolů mezi člověka a stroj. Základní rozdělení úkonů do tří operačních režimů řízení vozidla, popisuje tabulka 2.1. Tato práce se zaměřuje na testování primárně kolizních situací s chodci či cyklisty, dle tabulky 2.1 se jedná o Operační Skupinu typu C [3].

Všechny pokročilé asistenční systémy v oblasti bezpečnosti můžeme chápat jako prvky aktivní bezpečnosti, tedy zabraňují vzniku nehod. Na rozdíl od prvků pasivní bezpečnosti, které zmírňují následky nehody (bezpečnostní pásy, airbag). Prvky ADAS lze proto testovat bez „crash-testů“ a tím i bez poškození vozidla.

¹Telematika - zpracování, přenos a zobrazování dat (informativní funkce)

2.1. ISO 26262

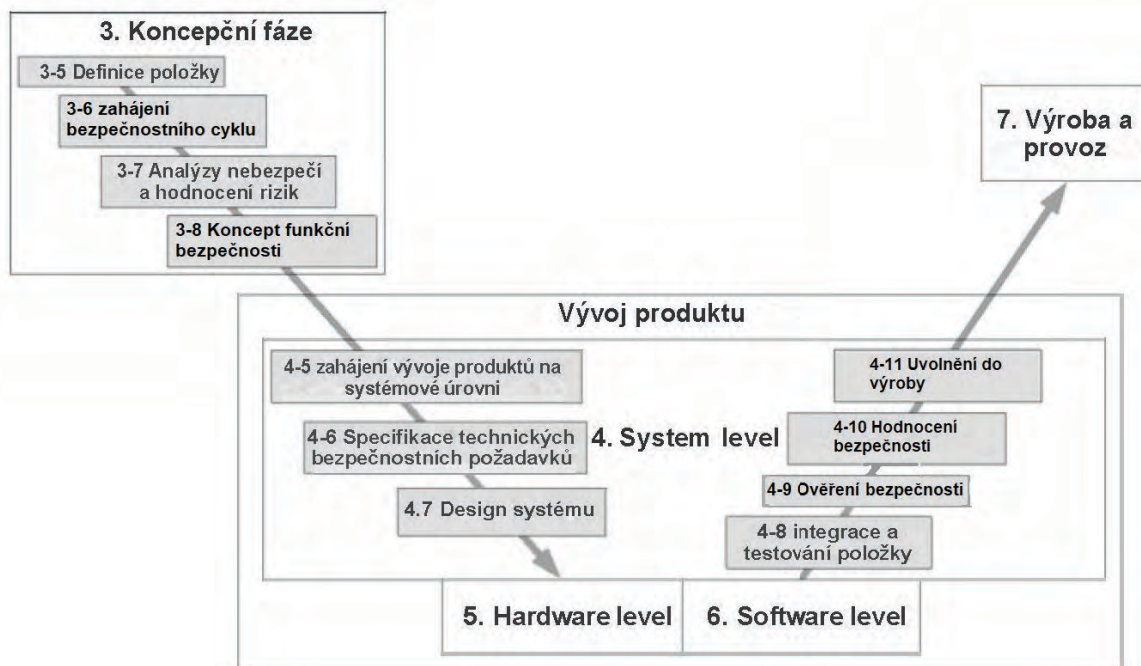
<p>Operace typu A</p> <p>Informativní a varovné funkce</p>	<p>Operace typu B:</p> <p>Průběžné automatizační funkce</p>	<p>Operace typu C</p> <p>Zásahové funkce při mimořádných událostech (situace blízké nehodě)</p>
<p>Ovlivňuje řízení vozidla pouze nepřímo prostřednictvím řidiče.</p>	<p>Převzmete okamžitou kontrolu nad vozidlem. Rozdělení úkolů mezi řidiče a funkci (obvykle komfortní funkce - ovládání zůstává vždy nadřazené)</p>	<p>Převzme okamžitou kontrolu nad vozidlem v situacích blízkých nehodě, které řidič de facto nemůže zvládnout. (obvykle bezpečnostní funkce)</p>
<p>Příklady:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rozpoznávání dopravních značek (zobrazení aktuálního rychlostního limitu) • Varování před opuštěním jízdního pruhu 	<p>Příklady:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adaptivní tempomat (ACC) • Asistent udržování v jízdním pruhu (prostřednictvím zásahů do řízení) 	<p>Příklady:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Automatické nouzové brzdění (spuštěné systémem) • Asistent nouzového řízení (ve vývoji) • asistent nouzového zastavení (řidič není schopen jednat)

Tabulka 2.1: Shrnutí tří „top-level“ provozních režimů [3]

2.1. ISO 26262

Hlavní normou zastřešující metodiku vývoje prků ADAS je ISO 26262 [9]. Tato norma je adaptací normy funkční bezpečnosti IEC 61508 pro automobilové elektrické/elektronické systémy. Norma ISO 26262 definuje požadavky na proces vývoje bezpečnostně kritických součástí a systémů silničních vozidel (včetně ADAS) od specifikace přes návrh, implementaci, integraci, ověření, validaci až po uvolnění do výroby. Norma má za cíl zabránit systematickým poruchám a náhodným hardwarovým poruchám [3].

Vzhledem ke svému multifunkčnímu cíli se norma ISO 26262 liší od norem pro asistenční systémy řidiče specifických pro jednotlivé funkce. Tyto normy, jako je například ISO 15622 pro adaptivní tempomat (ACC), definují funkční oblasti, rozsah, minimální požadavky a zkušební metody související s aktuální funkcí asistenta řidiče [3].



Obrázek 2.1: Vývojový V-diagram pro systémy ADAS vycházející z normy ISO 26262 [3]

2.2. Druhy ADAS

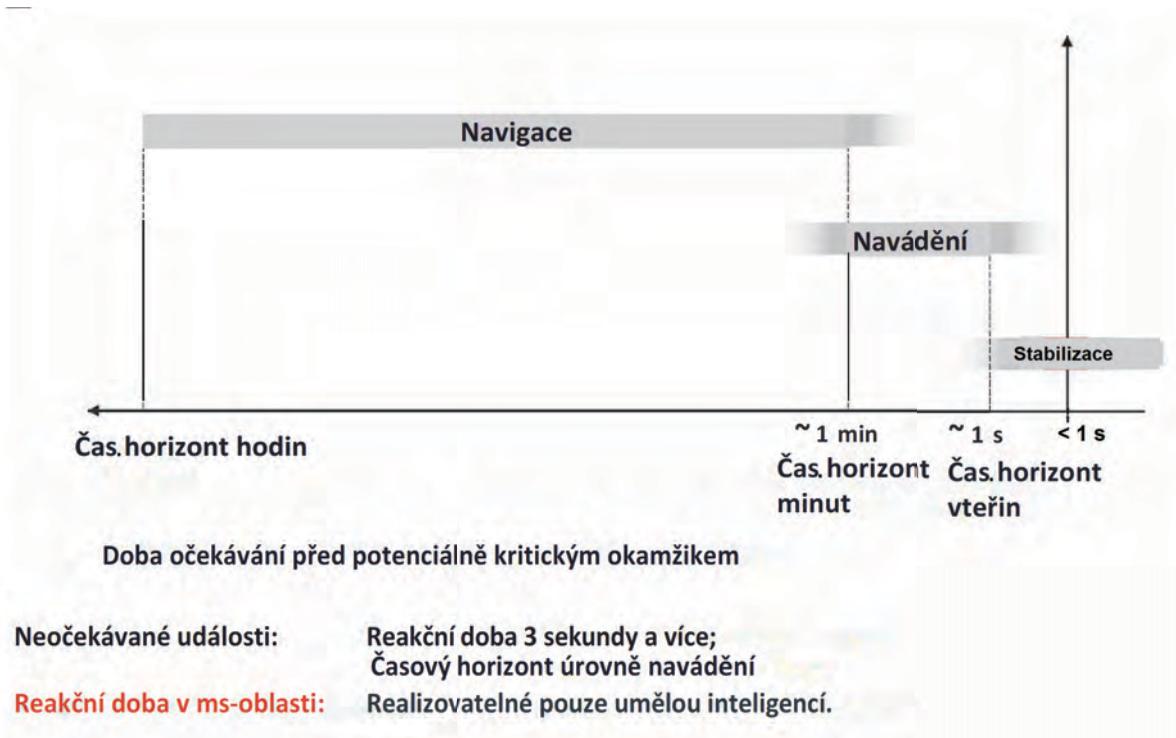
Asistenční systémy lze rozdělit podle časového horizontu v kterém reagují a jednájí (viz obrázek 2.2. V takovém případě systémy dělíme na [3]:

- **Navigační** - operuje v nejdelším časovém horizontu, řádově hodiny, patří sem například navigace pomocí GPS.
- **Naváděcí** - operuje řádově v minutách, patří sem například asistenční systémy parkování.
- **Stabilizační** - Vyznačují se nejkratší operační dobou, řádově v milisekundách. Nezbytná je extrémně nízká reakční doba, patří sem ABS, ESC, Systémy ochrany před srážkou atd.

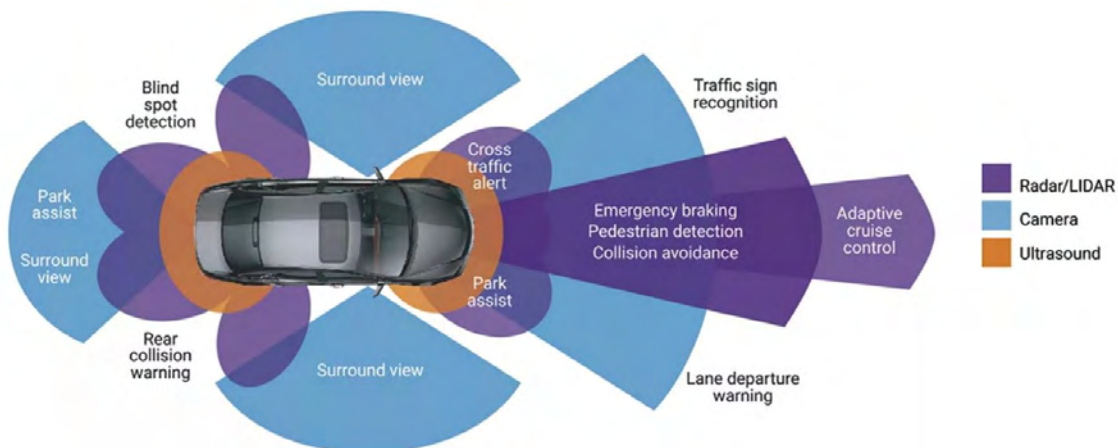
Reagovat na situaci v řádech milisekund je nad lidskými schopnostmi, pouze umělá inteligence je schopna reagovat v tak krátkém časovém horizontu. Stabilizační systémy proto neznamenají jen jakousi záchranu při pochybení člověka, například při nepozornosti, nicméně mohou zachránit situaci i v případě perfektního, avšak stále „pouze“ lidského řidiče. V momentě kdy lidský mozek teprve zpracovává informace z okolní situace, stabilizační systém už spouští brzdění a podobně.

Pokročilé asistenční systémy využívají řadu senzorů pro získání informací o okolním prostředí. Tyto jsou důležité zejména pro prvky bezpečnostního charakteru, vyhodnocení dat ze senzorů využívá například systém detekce chodců apod. Právě tyto senzory a s nimi pracující systémy jsou cílovou skupinou při testování ADAS pomocí pohyblivé figuríny. Oblast pokrytí senzory a systémy s nimi pracující popisuje obrázek 2.3.

2.2. DRUHY ADAS



Obrázek 2.2: Časové horizonty typické pro úkoly na úrovni navigace, navádění a stabilizace [3]



Obrázek 2.3: Znázornění oblasti použití detekčních prvků ADAS [5]

Park assist - parkovací asistent, Surround view - výhled na okolí, Blind spot detection - detekce mrtvého úhlu, Rear collision warning - varování před nárazem zezadu, Cross traffic alert - upozornění na křížení dráhy, Park assist - parkovací asistent, Emergency braking - nouzové brzdění, Pedestrian detection - detekce chodců, Collision avoidance, Traffic sign recognition - rozpoznávání dopravních značek, Lane departure warning - varování před opuštěním jízdního pruhu, Adaptive cruise control - adaptivní tempomat

2.2.1. Automatické nouzové brzdění (AEB)

Anglicky Autonomous Emergency Braking (AEB). Jde o systém, který začne automaticky brzdit pokud hrozí kolize a řidič nezasáhne, nebo tak neučiní dostatečně rychle. Systém

AEB je schopen detekovat potenciální kolizi a aktivovat brzdový systém ke zpomalení vozidla s cílem zabránit kolizi, nebo alespoň zmírnit její dopad.

Práci AEB lze rozdělit do dvou scénářů, které jsou dány zejména relativní rychlostí vozidla k objektu nárazu.

AEB - nízká rychlost

Scénář zákroku AEB v relativně nízké rychlosti vozidla, typicky v městském prostředí. Charakteristická je situace, kdy řidič nemá dostatek času pro reakci na FCW², aby zabránil nehodě. Poslední bod pro vyhnutí se kolizi řízením je **před** posledním bodem pro brzdění (viz 2.2.3 AEB vs ESA). Typické systémové řešení [18]:

- Pouze automatický zásah systému (tj. bez varování).

AEB - vysoká rychlost

Charakteristická je vysoká relativní rychlost, typicky v prostředí okresních silnic a dálnic. Situace poskytuje dostatek času pro reakci řidiče na varování před kolizí, aby se vyhnul nehodě. Poslední bod pro vyhnutí se kolizi řízením je **za** posledním bodem pro brzdění (viz 2.2.3 AEB vs ESA). Typické systémové řešení [18]:

- Kaskáda varování (akustické, optické, hmatové), které řidiče vybudí k reakci.
- Pokud řidič reaguje brzděním: podpora brzdění.
- Automatický brzdňý zásah, pro zmírnění následků kolize, (protože automatický zásah je za posledním bodem pro úhybný manévr).
- Kolizi lze stále zabránit uhýbacím manévrem řidiče nebo systému ESA.

Většina systémů je navržena tak, aby podporovala řidiče, kteří jsou nepozorní nebo nedostatečně brzdí. Zároveň je ale nutné vyhnout se příliš časným varováním, které většina řidičů považuje za „falešný alarm“. Časným zákrokům AEB je nutné se vyhnout zejména ve fázi podpory brzdění a automatického brzdění. Například v situaci kdy vozidlo předjíždí na dálnici, by systém mohl chybně vyhodnotit situaci a spustit brzdňý manévr, který by mohl vést až k nehodě. Z toho důvodu jsou automatické brzdňé manévry většinou zahájeny až v momentě, kdy systém vyhodnotí, že srážce nelze předejít zásahem řidiče (což je v případě vysokých rychlostí relativně pozdě, jelikož srážce lze zabránit úhybným manévrem ještě daleko za hranicemi brzdňé dráhy). To se děje i za cenu, že systém pouze zmírní následky kolize, nikoliv jí zabrání.

Pozn. Podpora brzdění - studie prokázaly, že člověk je schopen stisknout brzdový pedál rychle, avšak slabě, nebo pomalu, ale silně. Není však schopen stisknout pedál rychle a zároveň silně. Tuto mezeru má za úkol vyplnit systém podpory brzdění, který v krizové situaci zvýší tlak v hydraulickém brzdňém systému, avšak až po zásahu řidiče [3].

²FCW - Forward Collision Warning (Systém varování před čelní srážkou)

2.2.2. Asistent úhybného manévru (ESA)

Anglicky Evasive Steering Assistance (ESA). Na trhu existuje několik systémů ESA, které mají mírně odlišné vlastnosti a jedinečné patentované názvy. Například Ford a Mercedes pojmenovaly své systémy Evasive Steering Assist, zatímco Volvo označuje svou technologii jako Steering Support pod hlavičkou City Safety³. Nehledě na názvy je základní premisa všech systémů stejná: pomáhat manévrovat kolem pomalu jedoucího nebo stojícího objektu, pokud se mu řidič nemůže vyhnout pouhým brzděním [19].

většina systémů ESA má maximálně podpůrnou funkci. Systém vyhodnocuje data ze senzorů ale čeká na řidiče, aby zahájil úhybný manévr. Poté systém aplikuje dodatečnou sílu pro zatačení a zkrátí tak dráhu a čas potřebný pro manévr. Napříc tomu automobilka Nissan již v roce 2012 představila systém autonomního nouzového řízení, který je schopný operovat bez prvotního zásahu řidiče [20]. Pokud systém zjistí riziko srážky s překážkou, které se nelze vyhnout pouze brzděním, určí směr bez překážky (úniková zóna) a poté automaticky řídí vozidlo tak, aby se vyhnulo kolizi. Systém je schopný vyhnout se i chodci jdoucímu z poza překážky a to až do rychlosti 40 mil za hodinu (přibližně 64 km/h) a u stojících vozidel až do rychlosti 50 mil za hodinu (přibližně 80 km/h). Při vyhýbání je třeba dbát zejména na riziko srážky s vozidlem jedoucím ve vedlejším pruhu vedle nás, za námi, nebo v protisměru. Nissan deklaruje, že pomocí senzorů a výkonné ECU⁴ je jejich systém schopný kontrolovat široké okolí vozu a včas predikovat scénář manévru a tím se vyhnout kolizi [21].

Systémové řešení je obdobné jako u AEB:

- Kaskáda varování (akustické, optické, hmatové), které řidiče vybudí k reakci.
- Pokud řidič reaguje zatačením: podpora zatačení.
- Automatický zásah ESA, pro zamezení kolize.

2.2.3. AEB vs ESA

Oba systémy AEB i ESA nejlépe fungují v kooperaci, jelikož v nízkých rychlostech je možné zabránit srážce pouze brzděním, naopak ve vysokých rychlostech je nutné použít úhybný manévr. Hranice mezi těmito rychlostmi velmi závisí na stavu pneumatik, brzd, vozovky, počasí apod. Nicméně orientační rozhraní v laboratorních podmínkách ukazuje obrázek 2.4.

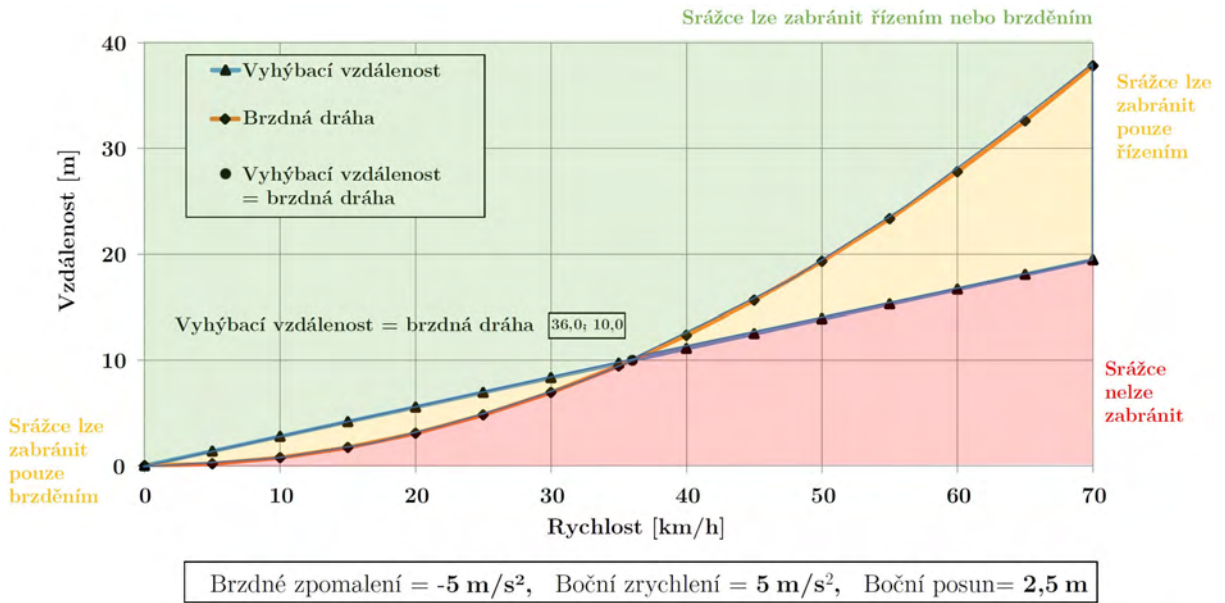
Zde je vidět, že v nízkých rychlostech do 36 km/h leží poslední bod pro úspěšné brzdění za bodem pro úhybný manévr. Od 36 km/h se tento poměr obrací a poslední bod pro úhybný manévr leží za bodem pro brzdění.

2.2.4. Systém detekce chodců

Systém detekce chodců je software, který zpracovává data ze senzorů LiDAR, RADAR, ultrazvuk a kamera. Výstupem softwaru jsou opět data, se kterými pracuje AEB a ESA. Ve srovnání s ostatními senzory získávají vizuální kamery značný význam díky svým nižším

³City Safety - termín zastřešuje funkce automobilky Volvo, jejichž úkolem je zabránit kolizi.

⁴ECU - Electronic Control Unit (elektronická řídicí jednotka)

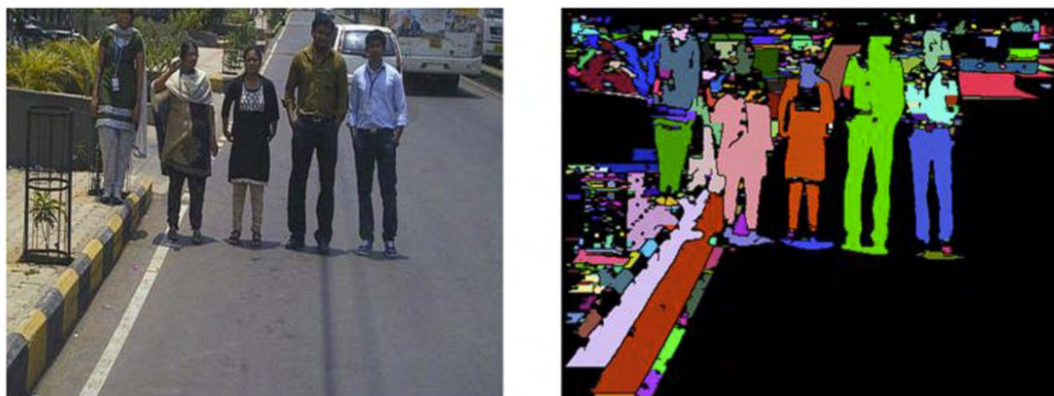


Obrázek 2.4: Poslední bod pro úhybný manévr a brzdný manévr [18]

nákladům a výhodám jako je dobrá zpracovatelnost dat a malá náchylnost k rušení. Pro Detekci chodců se využívá zejména právě kamer a v případě zhoršené viditelnosti infračervených kamer (viz 2.2.5 Noční vidění) [3].

Úkolem systému detekce chodců je mapovat okolí automobilu, přičemž nejdůležitější oblast je před vozidlem, ve směru jízdy. Oblast za vozidlem je pak mapována pro případ kolize s chodcem při couvání. Data o okolí jsou zpracována pomocí komplexních algoritmů pro vyhodnocení obrazu, které identifikují chodce na základě pohybu, textury, barvy atd. V kombinaci více kamer a nebo dalších senzorů je systém schopný určit i vzdálenost chodce od vozidla. Moderní systémy jsou schopny rozpoznat a sledovat postavu chodce, nebo cyklisty na vzdálenost i několik desítek metrů a to i ve tmě. Proces zpracování obrazu z kamer je graficky znázorněn na obrázcích 2.5 a 2.6.

Požadavky na výkon a zkušební postupy systému detekce chodců definuje norma **ISO 19237**, detekci cyklistů pak **ISO 22078**.



Obrázek 2.5: Detekce objektů (resp. chodců) pomocí rozhraní barevných oblastí [7]

2.2. DRUHY ADAS



Obrázek 2.6: Sledování chodců [8]

2.2.5. Noční vidění

Podle údajů o nehodách chodců z let 2010 - 2011 z amerického systému GES (General Estimates System) a systému FARS (Fatality Analysis Report System) se více než 39% nehod chodců stalo v noci a za špatných světelných podmínek. Procento smrtelných nehod chodců v nočních podmínkách činí více než 77 % [6].

Noční vidění využívá termo-kamer ke snímání oblasti před vozidlem. Kamery snímají infračervené záření a konvertují ho na obraz. Jedná se o tzv. pasivní systém. V případě aktivního systému je auto vybaveno infračerveným zářičem, který osvětluje oblast ve směru jízdy vozidla. Obraz získaný pomocí termo-kamer bývá zobrazován na přístrojové desce automobilu a ukazuje řidiči i to co je za daných podmínek okem neviditelné (viz obrázek 2.7). Systém nočního vidění často využívá algoritmů pro detekci chodců, nebo jej jinak využívají další systémy jako AEB a ESA. Noční vidění má využití nejen v noci ale i za mlhy, deště a podobně.



Obrázek 2.7: Noční vize s varováním o chodci, zobrazena na přístrojové desce vozu značky BMW [3]

3. Testování ADAS

Testování asistenčních systémů můžeme rozdělit do tří typů. První z nich je vývojové testování, které slouží pro ověření funkčnosti vyvíjeného systému. Vývojové testování nepodléhá státním, případně mezinárodním normám (může být pouze řízeno obecnou normou ISO 26262, viz kap. 2.1), nicméně může podléhat interním normám společnosti která systém vyvíjí. Testování probíhá v různých fázích vývoje produktu a vyznačuje se velkou variabilitou a opakovaností. Cílem vývojového testování je ověřit zda nový pokrok ve vývoji odpovídá funkčnosti.

Typicky se využívá dynamických simulací (např. software Simulink), konceptu X-in-the-loop (SIL, HIL, DIL, VEHIL, VIL)¹, nebo augmentace naměřených dat, což je v podstatě rozšíření naměřených dat simulačními. Například záznam z kamery z testovací jízdy se doplní o virtuální objekty a zbytek systému se pak testuje s touto upravenou verzí [10].

Druhý typ testování zahrnuje legislativní schvalování vozidel a jejich komponent. Toto schvalování se v současnosti téměř výhradně provádí na mezinárodní úrovni, a to prostřednictvím směrnic nebo nařízení Evropské unie, které vypracovává Evropská komise v Bruselu (směrnice EU 2019/2144 [12]). Alternativně se používají předpisy Organizace spojených národů (např. UN R 13-H [11]), které vytvořila Hospodářská komise OSN pro Evropu (UNECE) se sídlem v Ženevě (předpisy OSN 2014 [14]).

Při zavádění nového asistenčního systému je důležité zjistit, zda jeho funkce spadají do oblasti regulované legislativou. Například v oblasti světelné techniky existují specifické požadavky, které musí být splněny bez výjimky. Systémy osvětlení tak mohou být schváleny jen pokud splňují všechny zákonné podmínky. Naopak, jiné asistenční systémy řidiče, jako jsou informační nebo výstražné systémy (například zobrazení rychlostního limitu ve vozidle nebo funkce sledování mrtvého úhlu), mohou být snadno implementovány, protože jejich funkce buď nespádají pod legislativu, nebo jsou regulovány pouze v omezené míře [3].

Třetím a posledním typem testování jsou spotřebitelské testy. Ty vznikly z důvodu, že výrobci automobilů často uvádějí lepší výsledky svých asistenčních systémů než jaké stanovuje legislativa. Spotřebitelské testy proto porovnávají a hodnotí jednotlivé vozy různých značek. Evropským lídrem spotřebitelských testů v oblasti bezpečnosti je organizace Euro NCAP [13].

3.1. Euro NCAP

Evropský program hodnocení nových automobilů (angl. European New Car Assessment Programme - Euro NCAP) je evropský dobrovolný program hodnocení bezpečnosti automobilů se sídlem v belgické Lovani, který vznikl v roce 1996 [13]. Původně jej založila Laboratoř dopravního výzkumu pro britské ministerstvo dopravy, později jej podpořilo několik evropských vlád a také Evropská unie [16].

Organizace zveřejňuje zprávy o bezpečnosti nových automobilů a udělují „hvězdičkové hodnocení“ na základě výkonnosti vozidel v různých nárazových testech, včetně čelního nárazu, bočního nárazu a nárazu do sloupu a nárazu do chodců. V posledních dekádách

¹SIL - Software-in-the-loop HIL - Hardware-in-the-loop DIL - Driver-in-the-loop VEHIL - Vehicle-hardware-in-the-loop VIL - Vehicle-in-the-loop

3.1. EURO NCAP

společnost také zavádí testy asistenčních systémů, včetně těch pro ochranu „zranitelných účastníků provozu“ (anglicky Vulnerable Road Users - VRU). Do této kategorie spadají chodci, cyklisté a motocyklisté, nicméně pro cíle této diplomové práce jsou relevantní pouze první dvě skupiny, tedy chodci a cyklisté. Právě testům asistenčních systémů pro tyto dvě skupiny bude věnována tato kapitola.

3.1.1. Figuríny pro testy Euro NCAP

Současné systémy nouzového brzdění nejsou schopny zabránit kolizi při všech zkušebních rychlostech a parametrech, takže v určitém okamžiku během zkoušky dojde ke kolizi mezi zkoušeným vozidlem a cílovými objekty. Proto je vyžadována odolnost zkušebního cíle proti kolizím, aby se omezily náklady a čas zkoušky.

Pro testy asistenčních systémů jsou, kromě napodobenin aut, také využívány figuríny chodce, dítěte, cyklisty a motorky, které jsou zobrazeny na obrázku 3.1. Pro tuto diplomovou práci jsou relevantní tři figuríny zleva.

Figuríny chodců mohou být statické (neměnný tvar, bez kloubových končetin) nebo pohyblivé (s kloubovými končetinami). Zatímco statická figurína je jednoduchá, trvanlivá a snadno sestavitelná, pohyblivá figurína je mnohem realističtější, což vede k výsledkům testů, které lépe odpovídají výkonům v reálném světě. Statická figurína je stále přijatelná pro optické senzory, nicméně nové senzory typu RADAR jsou schopny využívat pohyb rukou a nohou pro mnohem rychlejší klasifikaci (a tím i mnohem lepší výkon systému) [3].

Figuríny kopírují vizuální, radarové, LiDAR a PMD² atributy typického chodce, cyklisty nebo motocyklisty a je možné do nich narazit, aniž by došlo k významnému poškození testovaného vozidla.



Obrázek 3.1: Figuríny používané na testy Euro NCAP [15]

²PMD - Photonic Mixer Device - měření vzdálenosti pomocí světelného dorazu

Pro zajištění opakovatelných výsledků musí figuríny i jejich hnací mechanismus splňovat požadavky uvedené v normě ISO 19206 Road vehicles - Test devices for target vehicles, vulnerable road users and other objects, for assessment of active safety functions (norma zatím nebyla přeložena do češtiny) [15].

- Část 2:2018: Requirements for pedestrian targets.
- Část 4:2018: Requirements for bicyclist targets.
- Část 5 (Návrh): Requirements for Motorcyclist targets.

Figuríny jsou navrženy pro práci s následujícími typy senzorů:

- Radar (24 a 76 - 81 GHz)
- LIDAR
- Kamera
- Ultrazvukový senzor

3.2. Scénáře testů

Program Euro NCAP popisuje následující scénáře testů pro srážku vozidla s chodcem/cyklistou [15].

Car-to-Bicyclist Dooring Adult (CBDA) - střet dveří zaparkovaného vozidla s cyklistou jedoucím vedle zaparkovaného vozidla.

Car-to-Pedestrian Farside Adult 50% (CPFA - 50) - srážka, při níž vozidlo jede dopředu proti dospělému chodci, který v běhu kříží jeho dráhu ze strany řidiče. Čelní konstrukce vozidla narazí do chodce v 50 % šířky vozidla, pokud nedojde k brzdění.

Car-to-Pedestrian Nearside Adult 25% (CPNA - 25) - srážka, při níž vozidlo jede dopředu proti dospělému chodci, který mu přechází cestu a jde ze strany spolujezdce. Čelní konstrukce vozidla narazí do chodce ve vzdálenosti 25 % šířky vozidla, pokud nedojde k brzdění.

Car-to-Pedestrian Nearside Adult 75% (CPNA - 75) - srážka, při níž vozidlo jede dopředu proti dospělému chodci, který mu přechází cestu a jde ze strany spolujezdce. Čelní konstrukce vozidla narazí do chodce v 75 % šířky vozidla, pokud nedojde k brzdění.

Car-to-Pedestrian Nearside Child Obstructed 50% (CPNCO - 50) - srážka, při níž vozidlo jede dopředu proti dětskému chodci, který vbíhá do cesty zpoza překážky, ze strany spolujezdce. Čelní konstrukce vozidla narazí do chodce v 50 % šířky vozidla, pokud nedojde k brzdění.

Car-to-Pedestrian Longitudinal Adult 25% (CPLA - 25) - srážka, při níž vozidlo jede dopředu proti dospělému chodci jdoucímu stejným směrem před vozidlem, přičemž

3.2. SCÉNÁŘE TESTŮ

vozidlo narazí do chodce na 25 % šířky vozidla, pokud není použito brzdění nebo není zahájeno vyhýbací manévrování v reakci na FCW.

Car-to-Pedestrian Longitudinal Adult 50% (CPLA - 50) - střet, při kterém vozidlo jede dopředu proti dospělému chodci jdoucímu stejným směrem před vozidlem, přičemž vozidlo narazí do chodce na 50 % šířky vozidla, pokud nedojde k brzdění.

Car-to-Pedestrian Turning Adult 50% (CPTA - 50) - srážka, při níž vozidlo odbočuje proti dospělému chodci, který přechází jeho dráhu a jde přes křižovatku (ve stejném nebo opačném směru než vozidlo před zatáčením). Čelní konstrukce vozidla narazí do chodce v 50 % šířky vozidla, pokud nedojde k brzdění.

Car-to-Pedestrian Reverse Adult/Child moving 50% (CPRA/Cm - 50) - srážka, při níž vozidlo jede směrem dozadu k dospělému nebo dětskému chodci, který mu přechází cestu ze strany spolujezdce. Zadní část vozidla narazí do chodce v 50 % šířky vozidla, pokud nedojde k brzdění.

Car-to-Pedestrian Reverse Adult/Child stationary (CPRA/Cs) - střet, při kterém vozidlo jede dozadu směrem ke stojícímu dospělému nebo dětskému chodci a zadní konstrukce vozidla narazí do chodce ve vzdálenosti 25, 50 nebo 75 % šířky vozidla, pokud nedojde k brzdění.

Car-to-Bicyclist Nearside Adult 50% (CBNA - 50) - srážka, při níž vozidlo jede dopředu směrem k cyklistovi, který mu kříží cestu a jede ze strany spolujezdce. Čelní část vozidla narazí do cyklisty ve vzdálenosti 50 % šířky vozidla, pokud nedojde k brzdění.

Car-to-Bicyclist Nearside Adult Obstructed 50% (CBNAO - 50) - srážka, při níž vozidlo jede dopředu směrem k cyklistovi, který vjíždí do cesty zpoza překážky, ze strany spolujezdce. Čelní konstrukce vozidla narazí do cyklisty v 50 % šířky vozidla, aniž by došlo k brzdění.

Car-to-Bicyclist Farside Adult 50% (CBFA - 50) - srážka, při níž vozidlo jede dopředu směrem k cyklistovi, který mu kříží cestu ze strany řidiče. Čelní část vozidla narazí do cyklisty na 50 % šířky vozidla, pokud nedojde k brzdění.

Car-to-Bicyclist Longitudinal Adult 25% (CBLA - 25) - srážka, při níž vozidlo jede dopředu směrem k cyklistovi jedoucímu ve stejném směru před vozidlem. Vozidlo narazí do cyklisty na 25 % šířky vozidla, pokud nebude použito brzdění nebo zahájen vyhýbací manévrování v reakci na FCW.

Car-to-Bicyclist Longitudinal Adult 50% (CBLA - 50) - srážka, při níž vozidlo jede dopředu proti cyklistovi jedoucímu ve stejném směru před vozidlem. Vozidlo narazí do cyklisty na 50 % šířky vozidla, pokud nedojde k brzdění.

Car-to-Bicyclist Turning Adult 50% (CBTA - 50) - srážka, při níž vozidlo odbočuje směrem k cyklistovi, který mu křížuje cestu a jede v protisměru přes křižovatku. Čelní konstrukce vozidla narazí do cyklisty v 50 % šířky vozidla, pokud nedojde k brzdění.

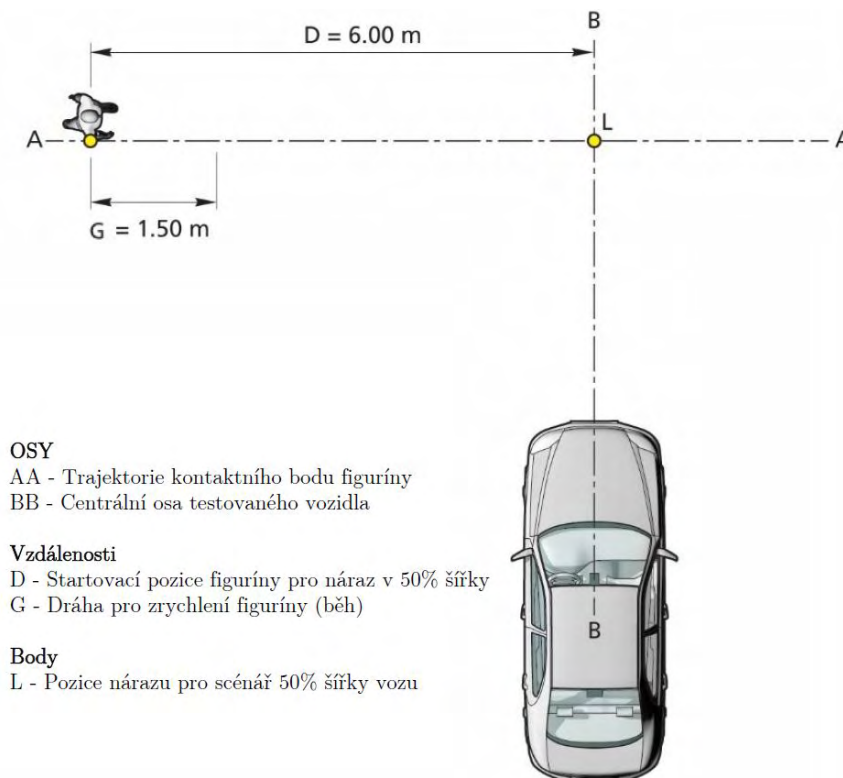
	CPFA	CPNA	CPNCO	CPLA		CPTA				CPRA/CPRC	
Obrázek	3.2	3.3	3.4	3.5		3.7				3.10	
Typ testu	AEB			AEB	FCW/ESS	AEB				AEB	
Rychlost TV [km/h]	10 - 60			20 - 60	50 - 80	10, 15, 20		10		4, 8	
Směr jízdy TV	Vpřed			Vpřed		Zatočení doprava		Zatočení doprava		Vzad	
Rychlost figuríny [km/h]	8	5		5	5	5				0	5
Směr figuríny	Od řidiče	Od spolujezdce		Vpřed		Z protější strany	Ze stejné strany	Z protější strany	Ze stejné strany	Stojí, čelem k (určí laboratoř)	Od strany spolujezdce
Lokace nárazu [%]	50	25,75	50	50	25	5				25,50,75	50
Pohyb končetin	Ano - podle rychlosti testu			Ano		Ano				Ne („vypnutá“ poloha)	Ano
Světelné podmínky	Den/Noc			Den/Noc		Den				Den	
Světla vozidla (noční)	Potkávací			Dálková		N/A				N/A	
Pouliční osvětlení (noční)	Ano			Ne		N/A				N/A	

Tabulka 3.1: Souhrn parametrů pro scénáře střetu vozidla s chodcem
TV - Testovací Vůz

3.2.1. Scénáře střetu vozidla s chodcem

Tabulka 3.1 popisuje parametry jednotlivých testů, k těm jsou přiřazeny obrázky.

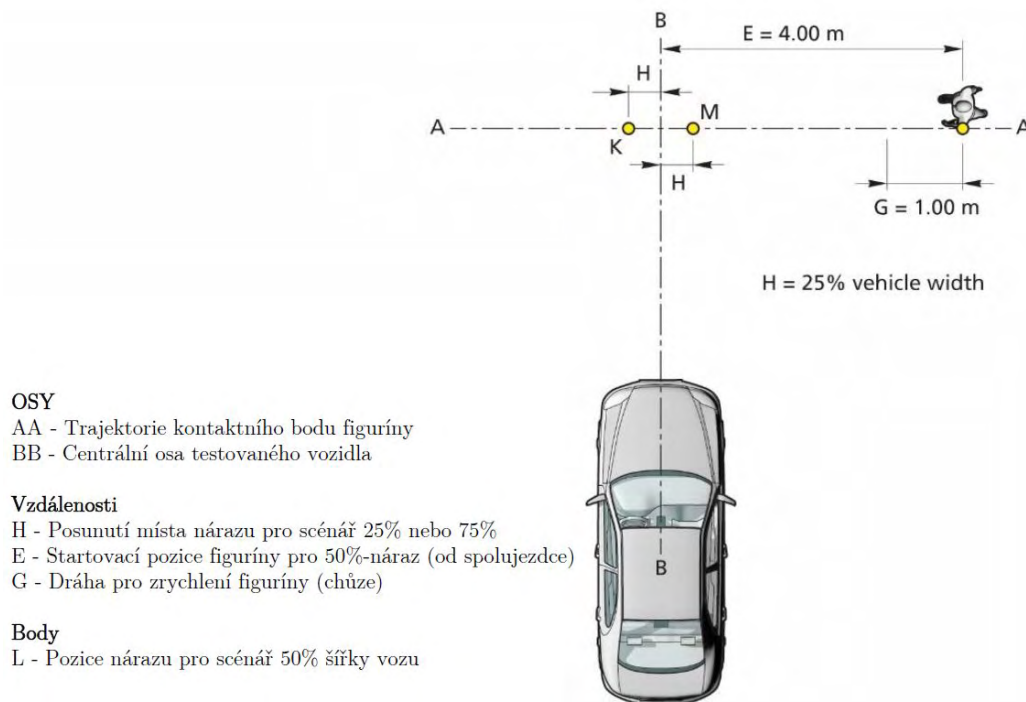
Vozidlo vs dospělý chodec ze strany řidiče



Obrázek 3.2: CPFA - 50 scénář, dospělý běžící ze strany řidiče [15]

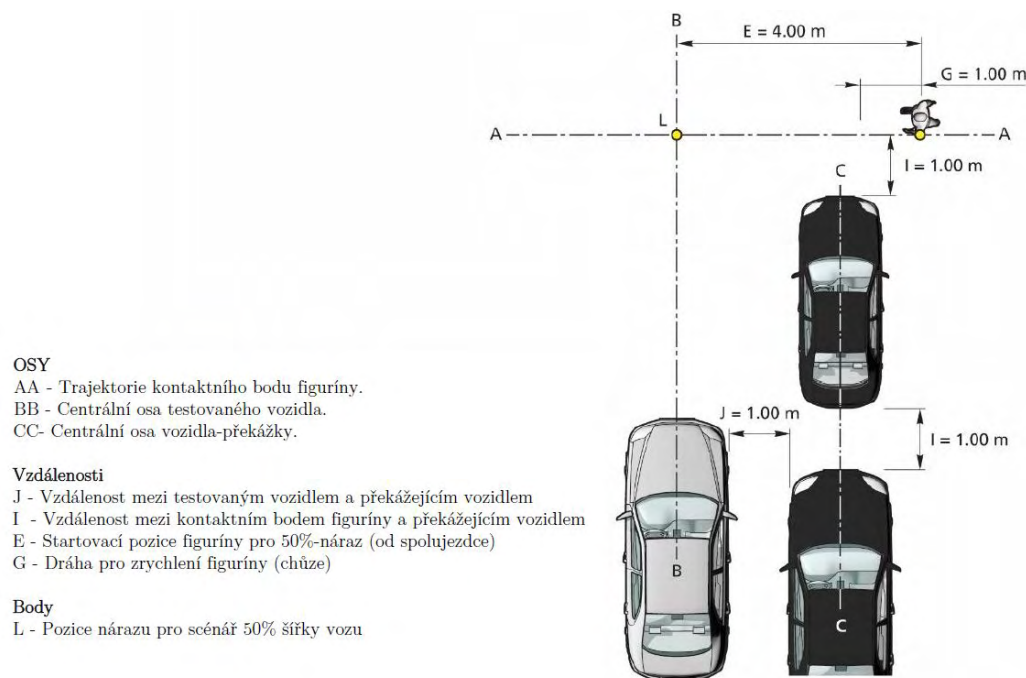
3.2. SCÉNÁŘE TESTŮ

Vozidlo vs dospělý chodec ze strany spolujezdce



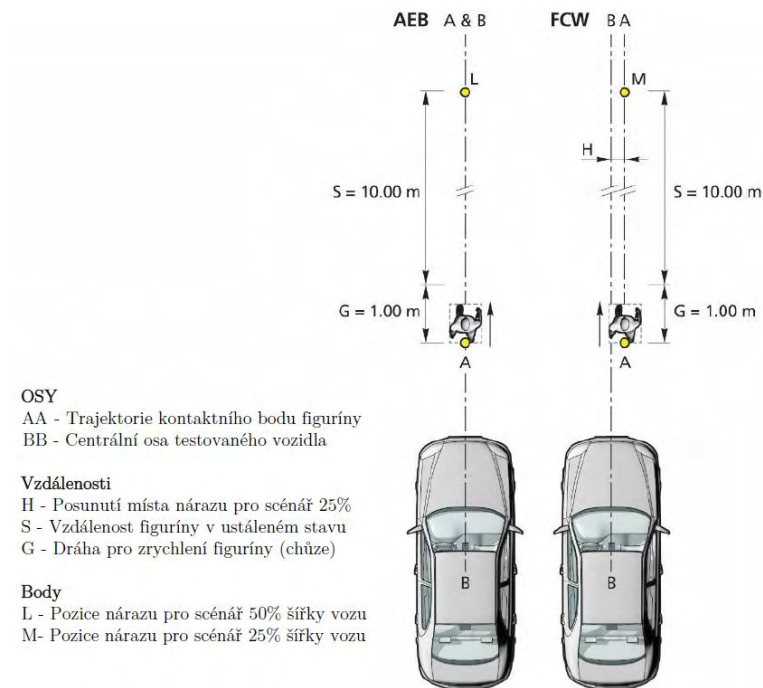
Obrázek 3.3: CPNA-25 & CPNA-75 scénáře, dospělý chodec ze strany spolujezdce [15]

Vozidlo vs dětský chodec zpoza překážky, ze strany spolujezdce



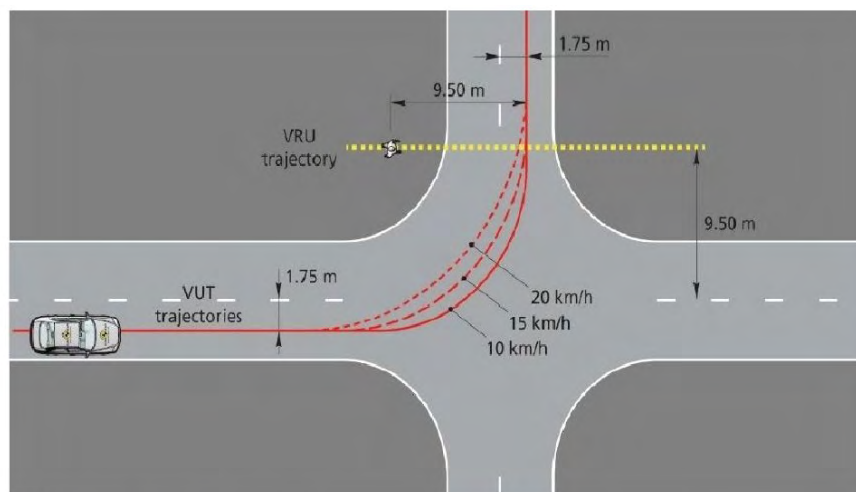
Obrázek 3.4: CPNCO-50 scénář, dítě běžící z poza překážky, ze strany spolujezdce [15]

Vozidlo vs dospělý chodec, podélná srážka



Obrázek 3.5: CPLA scénář, podélná chůze dospělé osoby [15]

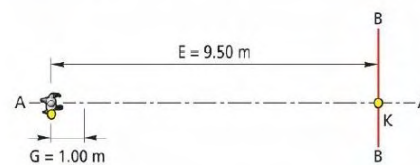
Vozidlo zatáčí doleva, chodec přechází zleva



OSY
 AA - Trajektorie kontaktního bodu figuríny
 BB - Centrální osa testovaného vozidla

Vzdálenosti
 E - Vzdálenost startovací pozice figuríny scénář 50%
 G - Dráha pro zrychlení figuríny (chůze)

Body
 K - Pozice nárazu pro scénář 50%, ze strany řidiče

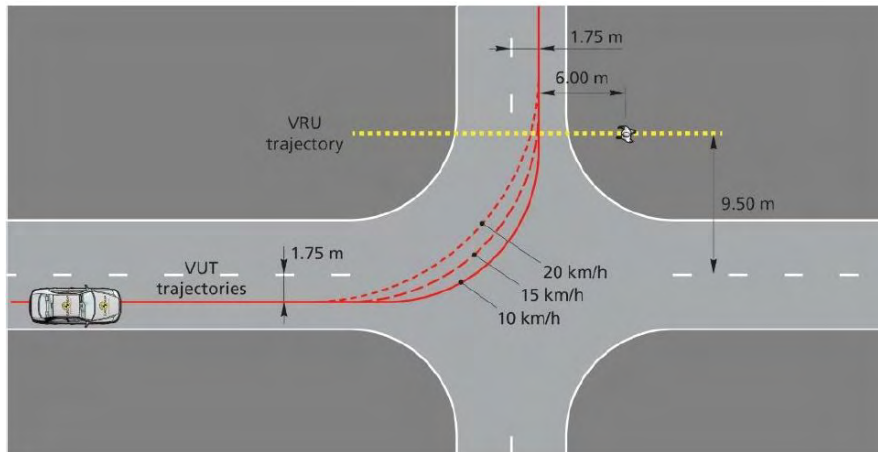


Obrázek 3.6: CPTAfs scénář - vozidlo odbočuje doleva, chodec přechází ze strany řidiče

[15]

3.2. SCÉNÁŘE TESTŮ

Vozidlo zatáčí doleva, chodec přechází zprava



OSY

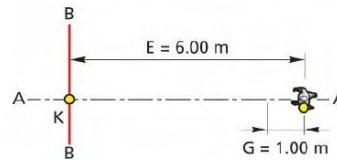
AA - Trajektorie kontaktního bodu figuríny
BB - Centrální osa testovaného vozidla

Vzdálenosti

E - Vzdálenost startovací pozice figuríny scénář 50%
G - Dráha pro zrychlení figuríny (chůze)

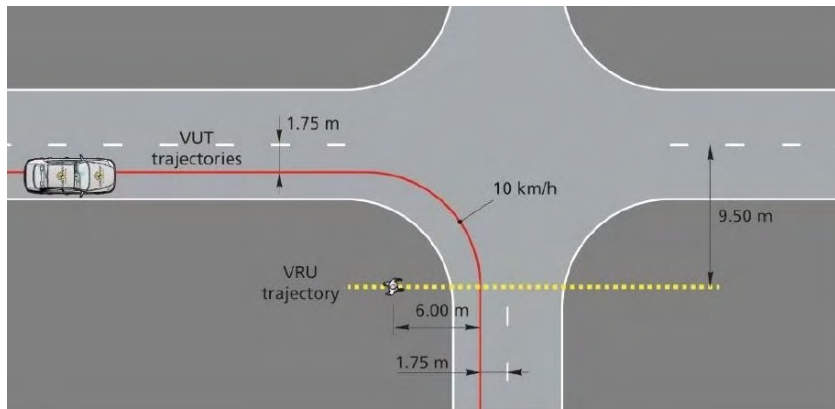
Body

K - Pozice nárazu pro scénář 50%, ze strany spolujezdce



Obrázek 3.7: CPTAfo scénář - vozidlo odbočuje doleva, chodec přechází ze strany spolujezdce [15]

Vozidlo zatáčí doprava, chodec přechází zprava



OSY

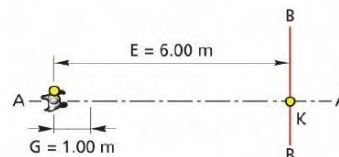
AA - Trajektorie kontaktního bodu figuríny
BB - Centrální osa testovaného vozidla

Vzdálenosti

E - Vzdálenost startovací pozice figuríny scénář 50%
G - Dráha pro zrychlení figuríny (chůze)

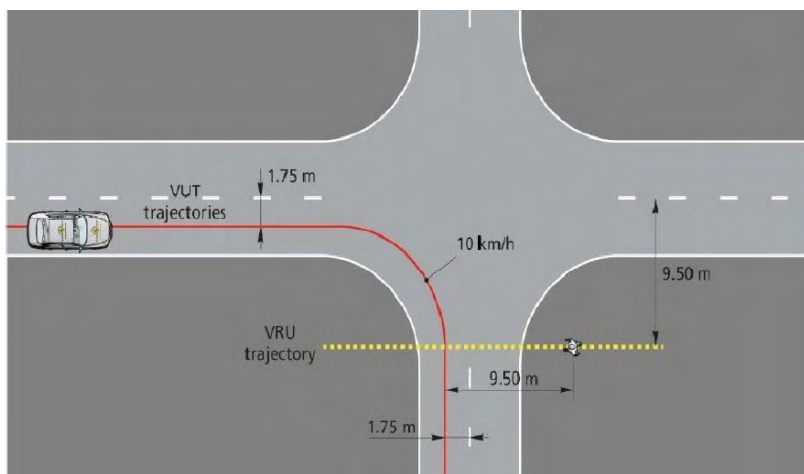
Body

K - Pozice nárazu pro scénář 50%, ze strany spolujezdce



Obrázek 3.8: CPTAns scénář - vozidlo odbočuje doprava, chodec přechází ze strany spolujezdce [15]

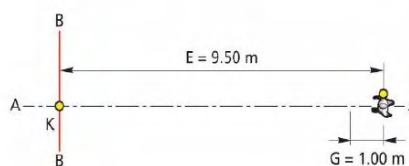
Vozidlo zatáčí doprava, chodec přechází zleva



OSY
 AA - Trajektorie kontaktního bodu figuríny
 BB - Centrální osa testovaného vozidla

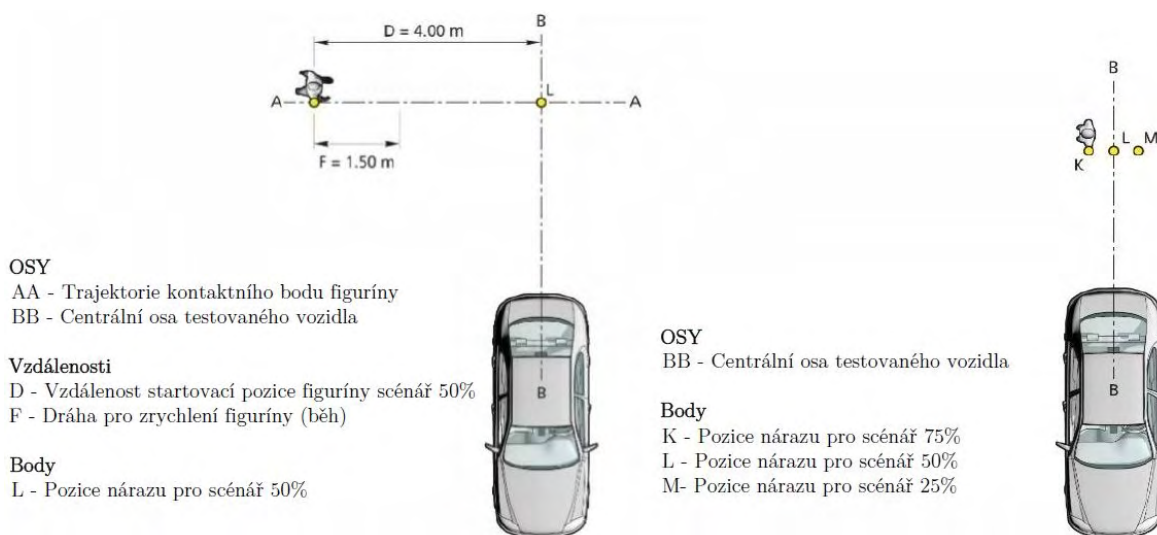
Vzdálenosti
 E - Vzdálenost startovací pozice figuríny scénář 50%
 G - Dráha pro zrychlení figuríny (chůze)

Body
 K - Pozice nárazu pro scénář 50%, ze strany řidiče



Obrázek 3.9: CPTAno scénář - vozidlo odbočuje doprava, chodec přechází ze strany řidiče [15]

Couvající vozidlo vs dospělý/dětský chodec



OSY
 AA - Trajektorie kontaktního bodu figuríny
 BB - Centrální osa testovaného vozidla

Vzdálenosti
 D - Vzdálenost startovací pozice figuríny scénář 50%
 F - Dráha pro zrychlení figuríny (běh)

Body
 L - Pozice nárazu pro scénář 50%

OSY
 BB - Centrální osa testovaného vozidla

Body
 K - Pozice nárazu pro scénář 75%
 L - Pozice nárazu pro scénář 50%
 M - Pozice nárazu pro scénář 25%

Obrázek 3.10: CPRA/CPRC scénář, chodec ze strany spolujezdce (vlevo) a stacionární (vpravo) [15]

3.2. SCÉNÁŘE TESTŮ

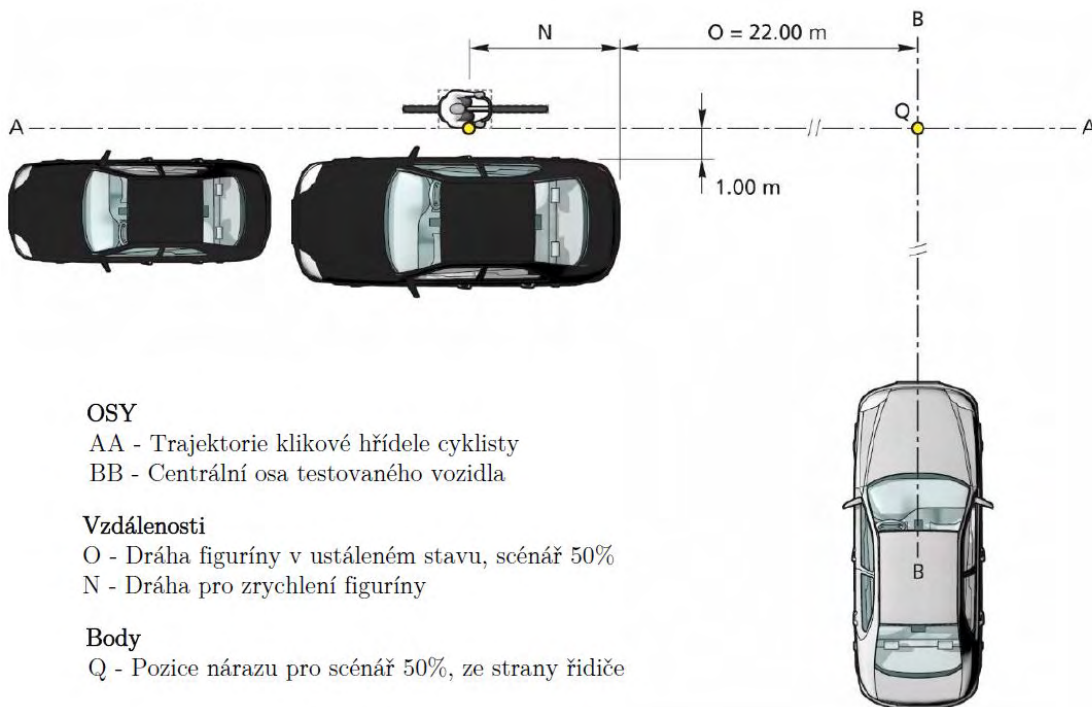
3.2.2. Scénáře střetu automobilu s cyklistou

Následující tabulka 3.2 popisuje parametry testů, pro scénáře srážek vozidla s cyklistou. Jednotlivé testy jsou znázorněny na obrázcích.

	CBFA	CBNA		CBLA		CBTA		CBDA
Obrázek	3.11	3.12 & 3.13		3.14		3.15		3.16
Typ testu	AEB	AEB		AEB	FCW/ESS	AEB		
Rychlost TV [km/h]	10 - 60	10 - 60		25 - 60	50 - 80	10, 15, 20	10	0
Směr TV	Vpřed	Vpřed		Vpřed		Zatáčí od řidiče	Zatáčí od spolujezdce	Stacionární
Překážka	Ne	Ne	Ano	Ne		Ne		Ano
Rychlost figuríny [km/h]	20	15	10	15	20	15		15
Směr figuríny	Od řidiče	Od spolujezdce		Stejně jako TV		Z protější strany		Stejně jako TV
Poloha nárazu [%]	50	50		50	50	50		Bod nejvíce vzadu zavřených dveří
Světelné	Den	Den		Den	Den	Den	Den	Den

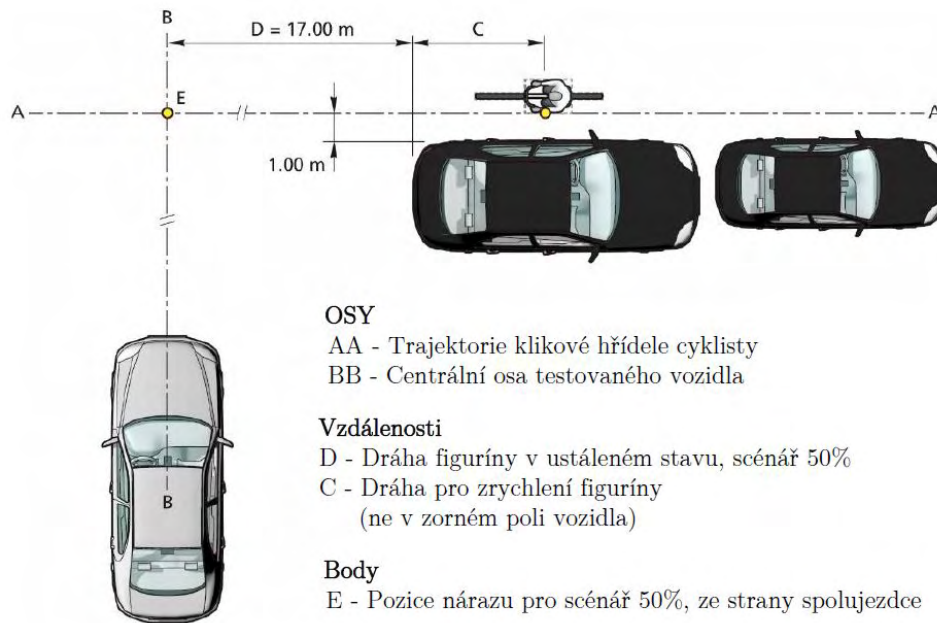
Tabulka 3.2: Souhrn parametrů pro scénáře střetu vozidla s cyklistou
TV - Testovací Vůz

Vozidlo vs dospělý cyklista ze strany řidiče



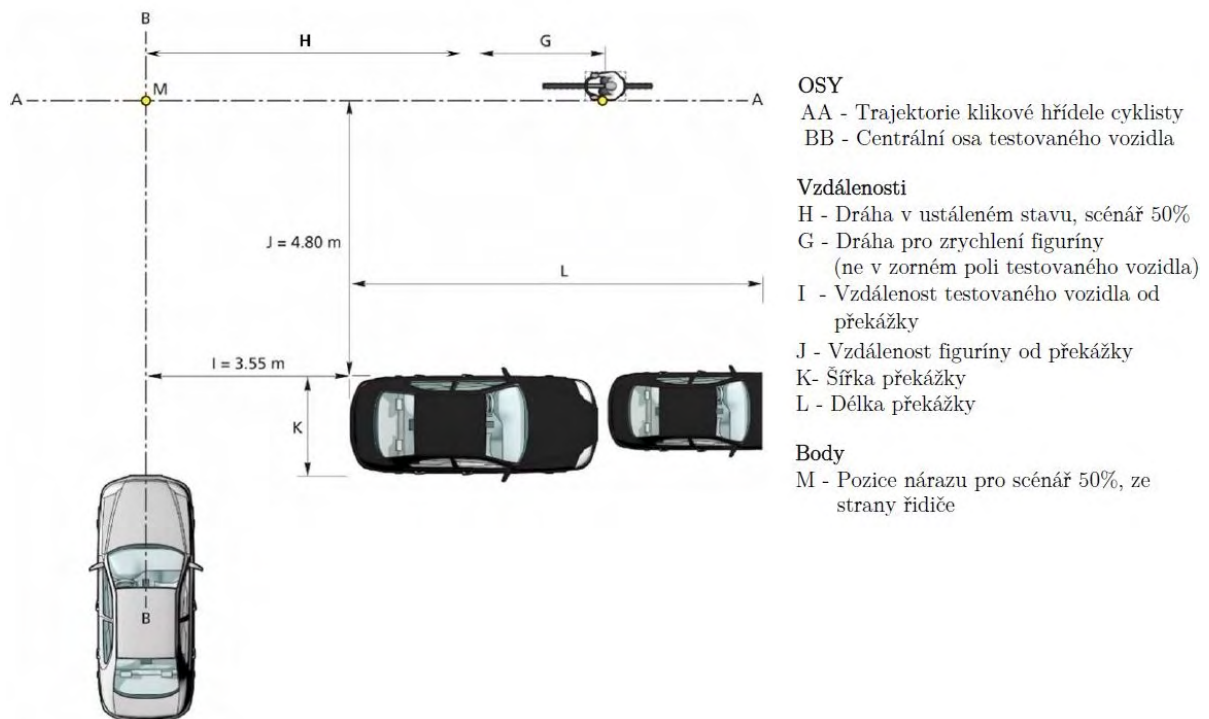
Obrázek 3.11: CBFA scénář, cyklista ze strany řidiče [15]

Vozidlo vs dospělý cyklista ze strany spolujezdce



Obrázek 3.12: CBNA scénář, cyklista ze strany spolujezdce [15]

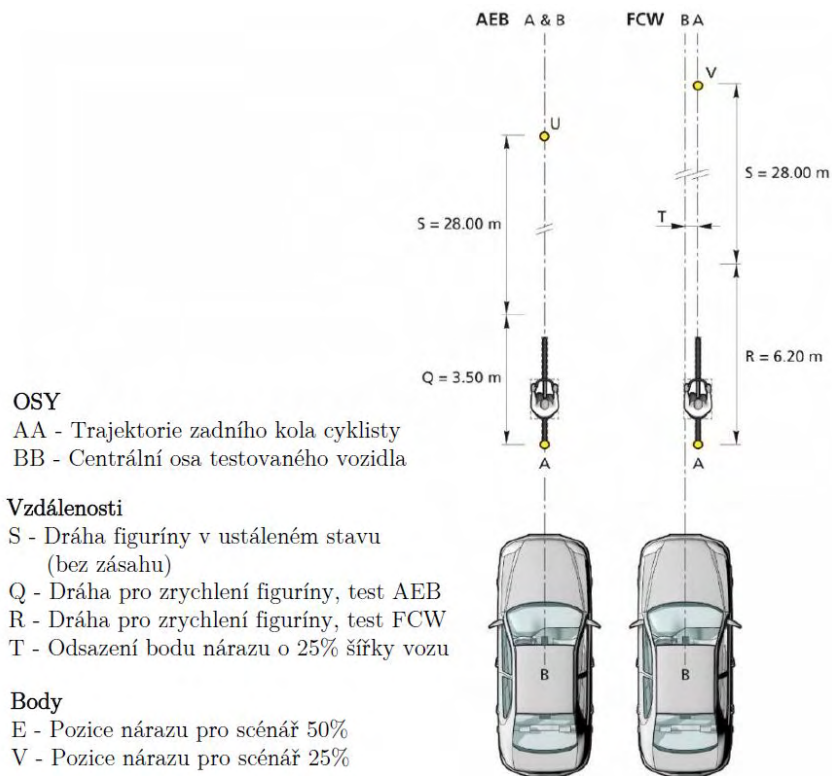
Vozidlo vs dospělý cyklista ze strany spolujezdce, s překážkou



Obrázek 3.13: CBNAO scénář, cyklista ze strany spolujezdce, vyjíždějící zpoza překážky [15]

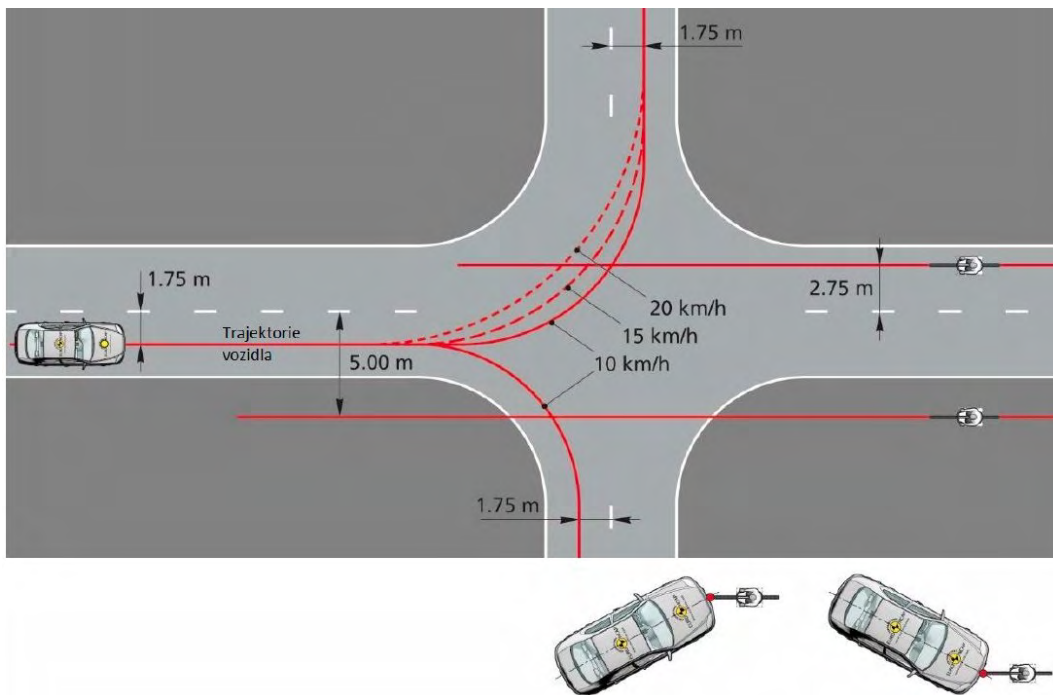
3.2. SCÉNÁŘE TESTŮ

Vozidlo vs dospělý cyklista, podélná srážka



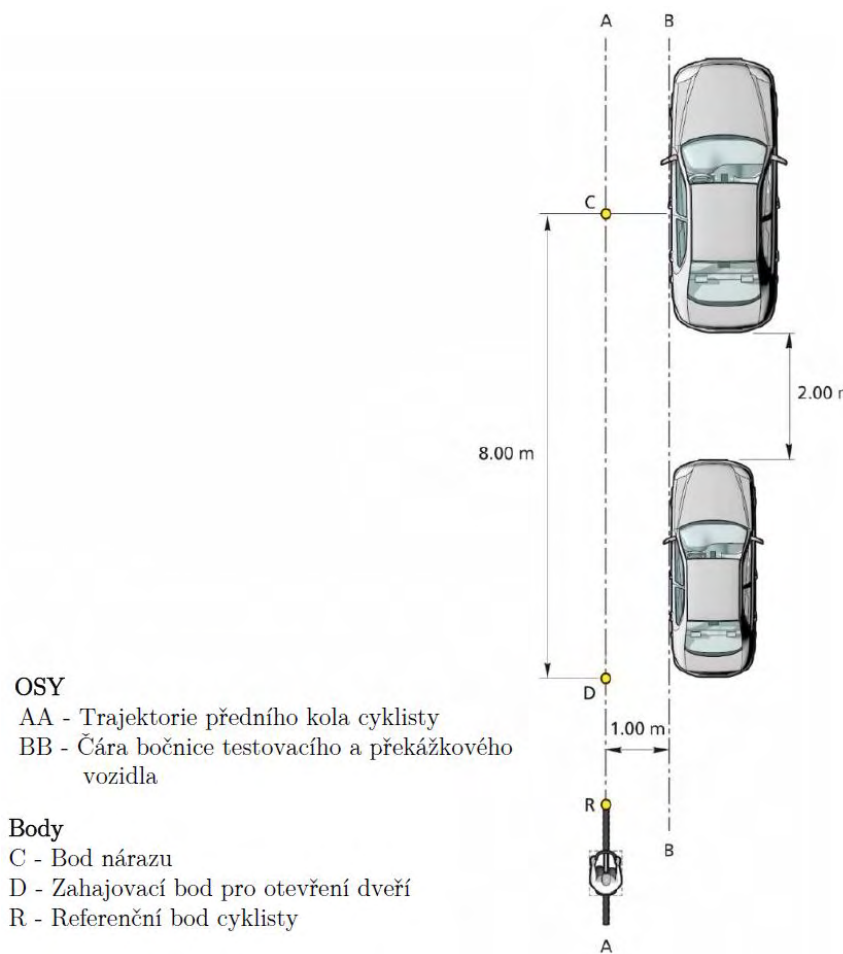
Obrázek 3.14: CBLA scénáře, cyklista jede rovnoběžně (AEB vlevo & FCW vpravo) [15]

Vozidlo vs dospělý cyklista v zatáčce



Obrázek 3.15: CBTAfo scénáře, cyklista jede z protější strany [15]

Vozidlo vs dospělý cyklista, srážka s dveřmi



Obrázek 3.16: CBDA scénáře, cyklista jede podél, vozidlo otevírá dveře [15]

4. Platformy pro testování ADAS

Systémy nouzového brzdění při nehodách chodců pravděpodobně nikdy nebudou schopny zabránit nehodě ve všech testovacích případech. Použití skutečných lidí jako cílového objektu nepřipadá - i z etického hlediska - nikdy v úvahu. Cílový objekt (figurína chodce) se musí co nejvíce podobat člověku s vlastnostmi potřebnými pro typické senzory. Protože je velmi pravděpodobné, že dojde k nehodám, kterým se nedá zabránit, musí být cílový objekt buď nárazuvzdorný (aniž by došlo k poškození snímacích systémů vozidla), nebo musí existovat opatření, které umožní přemístit cílový objekt z dráhy vozidla během zlomků sekundy. V druhém případě musí být figurína schopna odolat relativně vysokým hodnotám zrychlení, které vzniknou při přemístování. Obvykle jsou tyto typy figurín zavěšeny na masivním stropním portálu. V prvním případě však musí mít figurína sama o sobě dostatečnou tvarovou stabilitu a je třeba kontrolovat abrazivní vlastnosti oděvu, ale figurínu pak lze přemístit pomocí levných a přenosných pohonných systémů plošného typu. Tyto plošiny jsou buď dálkově ovládané s vlastním pohonem, nebo naváděné a poháněné pásem (v některých případech lanem) [17].

4.1. Závěsné portály



Obrázek 4.1: Portálový testovací systém FGS, pro figurínu chodce od společnosti 4a, Rakousko [3]

Rakouská společnost 4a Engineering nabízí závěsný portál vyrobený převážně z uhlíkových vláken, který umožňuje odstranění figuríny za méně než 150 ms a zároveň je částečně neviditelný pro senzory RADAR, viz obrázek 4.1. Doba odstranění figuríny v takto krátkém čase má zanedbatelný vliv na funkci automatického brzdného systému. Je možné provádět zkoušky s relativně vysokou frekvencí a pohyblivé figuríny lze s tímto typem uspořádání snadno implementovat. Samotná zkušební sestava bohužel není přenosná a není vhodná pro zkušební laboratoře, které nevládní zkušební dráhu [3].

Španělská zkušební laboratoř a inženýrská společnost IDIADA vyvinula také stacionární zkušební zařízení portálového typu (viz obrázek 4.2), které umožňuje snadnou



Obrázek 4.2: Portálový testovací systém pro figurínu chodce, od společnosti Applus IDIADA, Španělsko [3]

implementaci animované figuríny. Protože odstranění figuríny není možné, musí být pohyblivá figurína robustní [3].



Obrázek 4.3: Portálový testovací systém pro figurínu chodce, od společnosti Continental Safety Engineering, Německo [3]

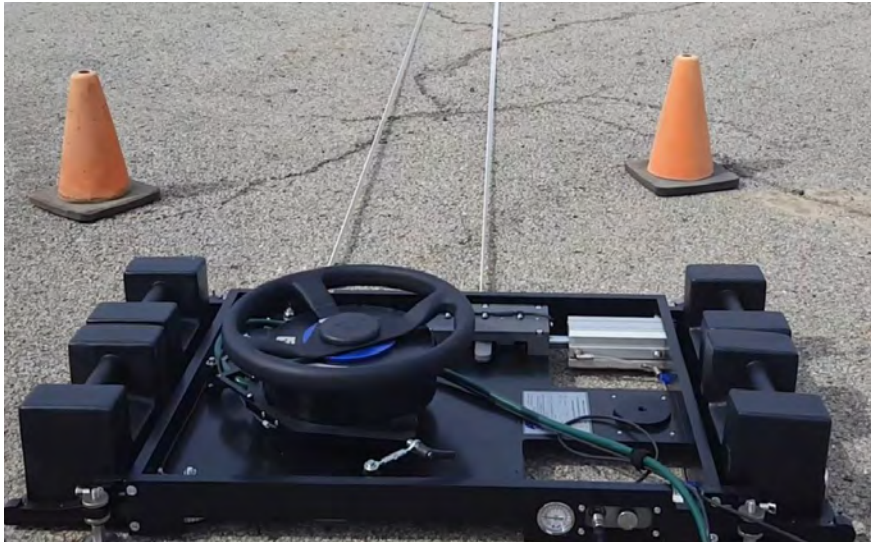
Německá společnost Continental Safety Engineering nabízí portálovou konstrukci (viz obrázek 4.3), která umožňuje zakřivené trajektorie figuríny. Je přenosná a doba potřebná k sestavení portálu je přibližně půl dne [3].

4.2. Řemenem řízené platformy

Dalším ze způsobu jak řešit pohyb figuríny je pomocí platformy tažené řemenem, tento systém používá například Rakouská firma AB Dynamics.

Systém se skládá z pohonné jednotky (obrázek 4.4), jejíž součástí je motor s kladkami pro řemen, a systém napínání. Díly jsou osazeny na rámu, který je zatížený čtyřmi bloky o celkové váze 80 kg, tím je zabráněno klouzání jednotky po vozovce a tím narušení předem stanovené, přesné polohy systému [22].

4.2. ŘEMENEM ŘÍZENÉ PLATFORMY



Obrázek 4.4: Pohonná jednotka společnosti AB Dynamics [22]

Řídící jednotka a akumulátory jsou řešeny externě, umístěním v zavazadlovém prostoru podpůrného vozidla (obrázek 4.5). Díky tomu je snížena hmotnost pohonné jednotky, což ocení zejména obsluha při její instalaci. Také je možné použít velké baterie které celou dobu setrvávají v podpůrném vozidle, stejně tak další elektronika jako řídící jednotka, ovládání a ovládací laptop. Všechny tyto komponenty jsou s pohonnou jednotkou spojeny kabeláží. Systém je možné napájet také z elektrické sítě, pokud je v dosahu, v takovém případě není limitován omezenou kapacitou baterií [22].



Obrázek 4.5: Řídící jednotka systému od firmy AB Dynamics [22]

Nosná, pohyblivá platforma pro pásový systém je na obrázku 4.6. Platforma je tažena plochým, často ozubeným řemenem, ten je uchycen pomocí vačkových upínačů na obou koncích platformy. Uchycení vačkami umožňuje uvolnění řemene v případě nuceného zastavení platformy, například v případě přejetí testovacím vozidlem, to chrání pohonnou jednotku před přetížením. Na ocelovém krytu platformy je šest magnetů pro instalaci fi-

4. PLATFORMY PRO TESTOVÁNÍ ADAS

guríny, nicméně lze použít i zámkového systému. Ze spodní strany platformy jsou relativně malá, polymerová kolečka, které jsou dostatečné pro povrch testovací vozovky [22].

Celá platforma je velmi jednoduchá a lehká jelikož nepotřebuje převážet žádnou elektroniku, na rozdíl od samohybných platforem. Také rozměry platformy jsou malé, což eliminuje riziko poškození testovaného vozidla při kolizi (zde hraje roli zejména výška) a test je také více realistický pro sensoriku.



Obrázek 4.6: Pohyblivá platforma s řemenem od firmy AB Dynamics [22].

Na obrázku 4.7 a) je vidět vratná, nehnaná řemenice. Vedle na obrázku 4.7 b) je uspořádání tří rohových řemenic. Rohové řemenice jsou volitelné a umožňují úhel 90° nebo 45°, toho se využívá v případě potřeby testovací dráhy, nebo pro podélné testy (obr 4.8). Řemenice jsou, stejně jako pohonná jednotka, zatíženy proti posunu. V tomto případě pomocí plochých desek, každé o hmotnosti 20 kg [22].



(a) Vratná řemenice

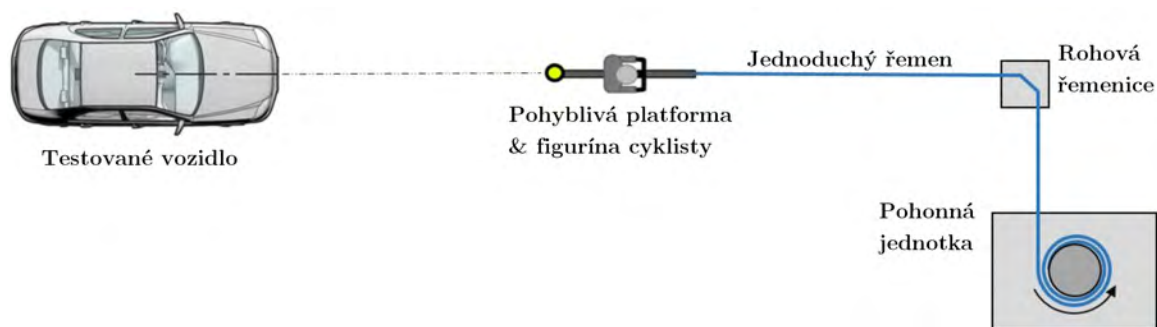


(b) Rohová řemenice 90°

Obrázek 4.7: Řemenice a závaží firmy AB Dynamics [22]

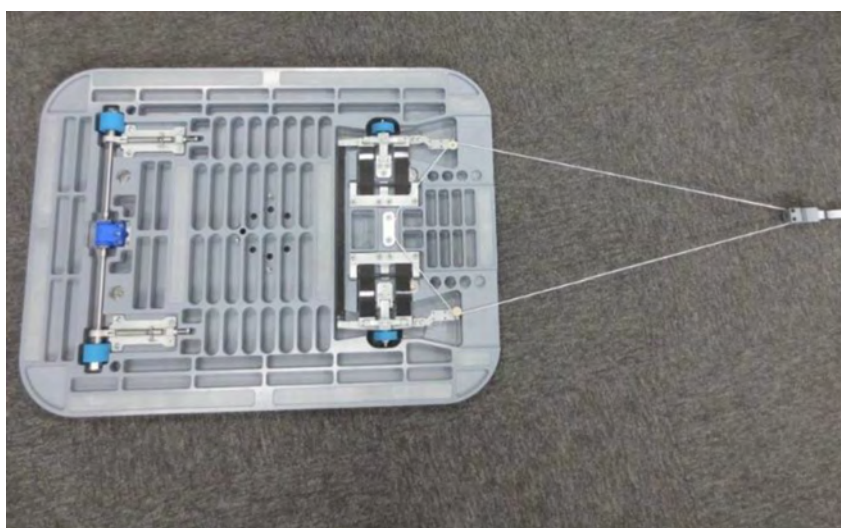
Pro podélné testy s figurínou cyklisty (CBLA - 25, CBLA - 50, obrázek 3.14), lze řemenový systém poměrně snadno modifikovat pro navíjení jednoho řemene. Schématické uspořádání je vidět na obrázku 4.8. V takovém případě se používá výhradně neozubený řemen a jeho navíjení na buben a tím způsobená „změna průměru“ bubnu musí být zohledněna v řídicím softwaru (snižováním otáček během navíjení), pro udržení konstantní rychlosti platformy [23].

4.3. RÁDIEM ŘÍZENÉ PLATFORMY



Obrázek 4.8: Uspořádání systému s jednoduchým pásem pro podélné testy [23]

Pohyblivá platforma pro podélné testy (obrázek 4.14) je uchycena řemenem pouze na přední straně, ve směru jízdy. Tato strana platformy je také vybavena kolečky s pasivním systémem zatáčení, který pomocí řídicího lanka udržuje přímý směr jízdy.



Obrázek 4.9: Pohyblivá platforma pro podélné testy firmy AB Dynamics.[23]

4.3. Rádiem řízené platformy

S postupujícím vývojem elektroniky se stávají stále oblíbenějšími rádiem řízené platformy. Tyto platformy jsou koncipovány jako samostatné jednotky, což znamená, že veškeré mechanické a elektronické součásti potřebné pro jejich funkčnost jsou integrovány přímo v jejich konstrukci.

Rádiem řízené platformy jsou oproti pásem taženým platformám (bráno bez navijáku a dalších periférií) obecně větší a těžší. Nicméně vzhledem k pokroku v miniaturizaci a výkonu elektronických komponent, který byl zaznamenán v posledním desetiletí, se toto řešení stává stále rentabilnějším.

S novými technologiemi v oblasti vývoje baterií lze zajistit, že platforma bude moci pracovat po delší dobu bez nutnosti dobíjení. Díky technologickým inovacím lze také snížit výšku platformy na přijatelnou úroveň. Jako příklad lze uvést platformu LunchPad Spin od společnosti AB Dynamics, jejíž výška činí pouhých 65 mm (viz obrázek 4.10) [35].

4. PLATFORMY PRO TESTOVÁNÍ ADAS

Na druhou stranu, konstrukce rádiem řízených platform musí splňovat vysoké požadavky na pevnost a odolnost. Musí být schopny nejen udržet vlastní stabilitu, ale také adekvátně chránit vnitřní elektroniku, která bývá často velmi nákladná

Jedním z hlavních předností rádiem řízených platform je jejich rychlé a efektivní nasazení. Na rozdíl od platform tažených řemenem a závěsných portálů, které vyžadují časově náročnou přípravu, rádiem řízené platformy mohou být rychle a snadno přizpůsobeny a nasazeny pro testování.

Další významnou výhodou je variabilita trajektorie, kterou rádiem řízené platformy nabízejí. Na rozdíl od ostatních konceptů, které mohou být v tomto ohledu omezené, umožňují rádiem řízené platformy snadno měnit trajektorii v průběhu testu. To přináší velkou flexibilitu a širokou škálu možností pro realizaci různých scénářů testů, což je velkou výhodou hlavně v případě vývojových testů prováděných výrobcem vozu. Což je i účel platformy kterou se zabývá tato diplomová práce.



Obrázek 4.10: Platforma LaunchPad Spin od společnosti AB Dynamics [35]

Rádiem řízené platformy jsou standardně vybaveny čtyřmi koly. Výjimkou v tomto oboru je společnost AB Dynamics, která jako jediná vyrábí platformu LunchPad Spin (viz obrázek 4.10) s pouze třemi koly. Výrobce uvádí že tato konstrukce poskytuje lepší manévrovatelnost než klasické čtyřkolové konstrukce. Avšak tento přínos je kompenzován zhoršenou jízdní stabilitou, což může komplikovat použití větších a těžších figurín, jako je například figurína cyklisty.

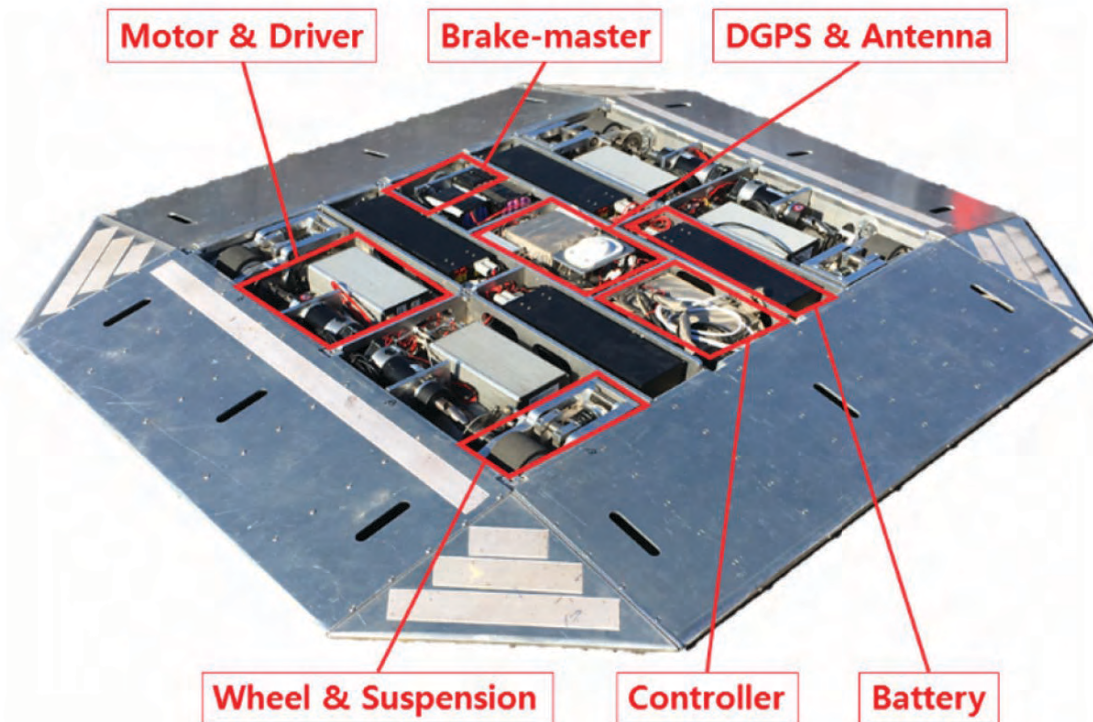
Další výzvou je konstrukce dostatečně flexibilního podvozku pro tříkolovou platformu, což je technicky náročnější úkol než u standardní koncepce se čtyřmi koly [35].

Pohonný systém rádiem řízených platform je obvykle založen na jednom, dvou, nebo čtyřech elektromotorech. Výkon těchto motorů je přizpůsoben požadovanému výkonu platformy a obecně se pohybuje v rozmezí 5 až 15 kW. Elektromotory se často používají také k brzdění, fungují jako dynamické brzdy. Avšak, platformy určené pro testování car-to-car scénářů, které vyžadují zpomalení až do hodnoty 0,7 g, často obsahují také hydraulický brzdový systém. Takový systém je vidět například na obrázku 5.4 v kapitole 5.2.1 [28].

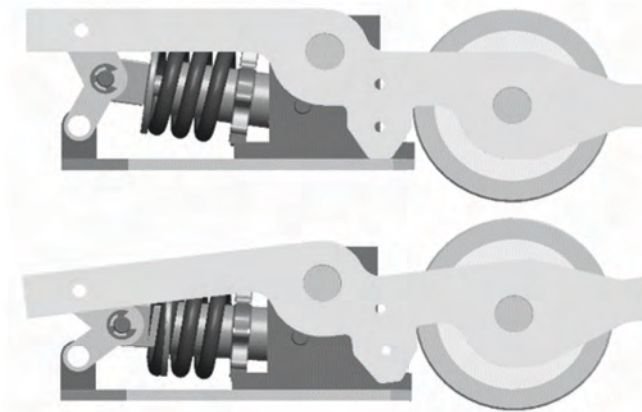
Komponenty typických platform jsou znázorněny na obrázcích 4.11 a 4.13. První varianta je vyvíjena týmem z Kookmin University v Soulu, v Jižní Koreji. Tato platforma má všechna čtyři kola poháněná přes kardanovou hřídel. Motory jsou umístěny vedle kol, ve směru jejich osy a umožňují řízení platformy prostřednictvím smyku. Všechna čtyři kola platformy jsou navíc vybavena odpružením, které je znázorněno na obrázku 4.12.

Druhá platforma, zobrazená na obrázku 4.13, je vybavena pouze dvěma poháněnými koly, která jsou hnána motory pomocí řetězového převodu. Zbylé dva kola jsou bez pohonu a jsou vybavena mechanismem pro řízení. Tým z Technické univerzity v Grazu, který tuto

4.3. RÁDIEM ŘÍZENÉ PLATFORMY



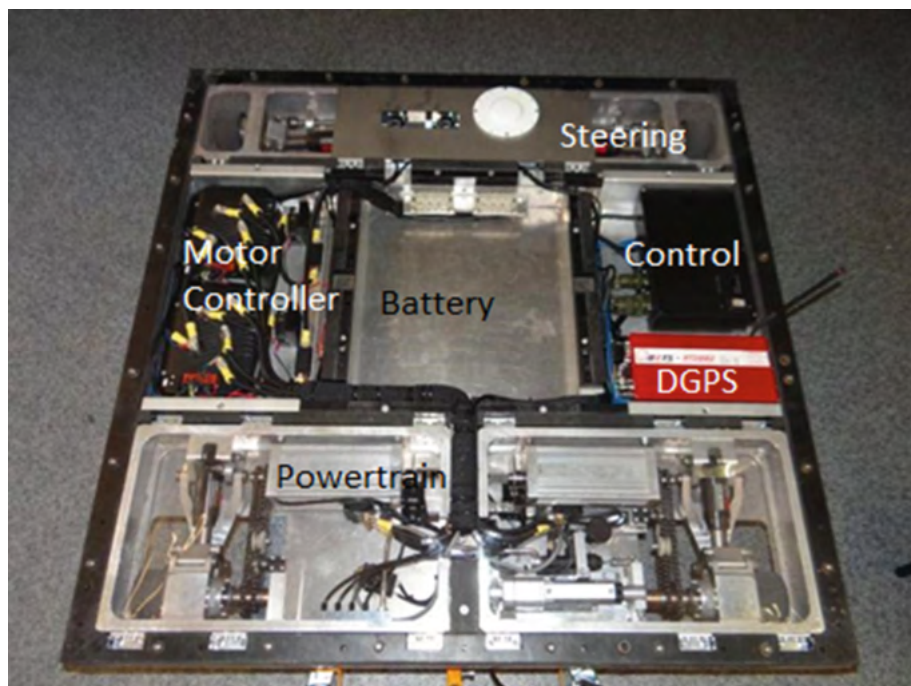
Obrázek 4.11: Platforma vyvíjená na Kookmin University, Seoul, Korea [27]
Driver - regulátor, Brake-master - hlavní brzdový válec, Antenna - anténa, Wheel - kolo, Suspension - odpružení, Controller - řídicí jednotka, Battery - akumulátor



Obrázek 4.12: Odpružení platformy vyvíjené na Kookmin University, Seoul, Korea [27]

platformu vyvíjí, nabízí dva způsoby řízení: buď jsou k dispozici dvě říditelná kola, která pomocí serva řídí pohyb platformy po předem stanovené dráze, nebo je možné simulovat například chodce, který může otáčet na místě, prostřednictvím předepsání různých rychlostí levému a pravému kolu/řetězu.

Specifickým řešením je použití „in-wheel“ motorů které využívá platforma vyvíjená týmem z Wuhan University of Technology, platforma je vyobrazena na obrázku 4.14. In-wheel motory nabízejí řadu výhod, které jsou podrobněji rozebrány v kapitole 5.2.2. Pro zatáčení platforma využívá natáčení předních kol servomotoru, nicméně celková konstrukce platformy a zejména pak zavěšení kol se nezdá být příliš robustní.



Obrázek 4.13: Platforma vyvíjená na Institute of Vehicle Safety, Graz University of Technology [28]
 Motor controller - regulátor motoru, Steering - zatáčení, Battery - akumulátor, Control - řídicí jednotka, Powertrain - hnací ústrojí

Další komponenty se obecně shodují pro většinu platform dostupných na trhu. Energetické zásobování těchto platform je zajišťováno akumulátory, přičemž v současnosti dominují lithium-iontové (li-ion) akumulátory. Dalšími součástmi platform jsou řídicí elektronika a v případě potřeby také brzdový systém.

Mnohé rádiem řízené platformy jsou konstruovány tak, aby mohly fungovat v autonomním módu. Pro navigaci v tomto režimu se často využívá systém DGPS, který je podrobněji popsán v kapitole 4.4.

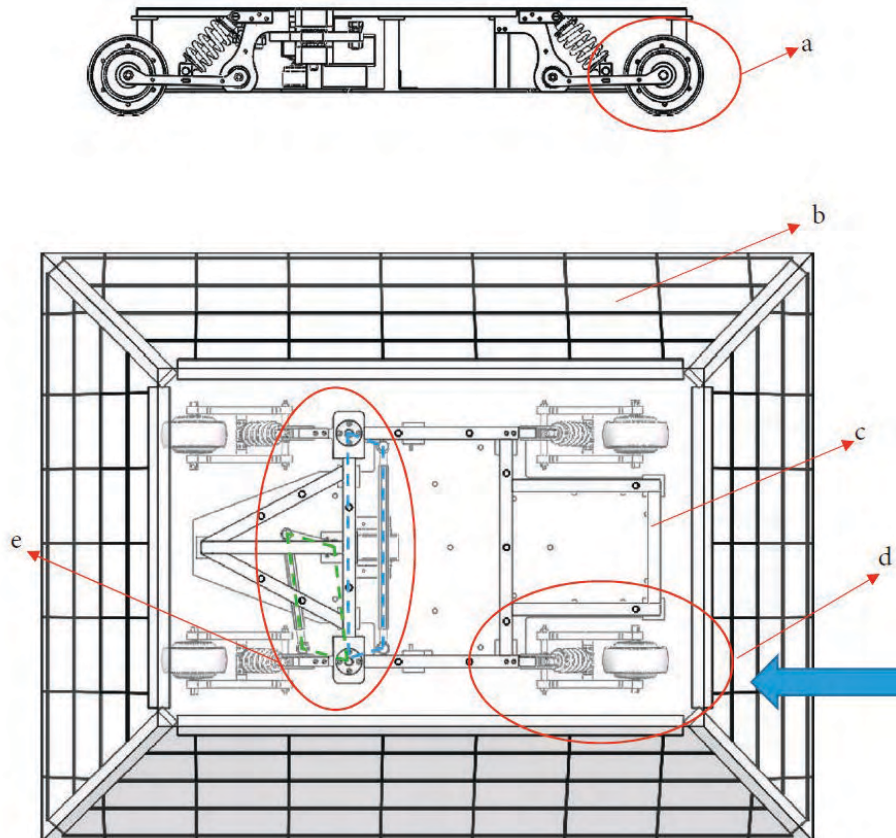
4.4. Synchronizace pohybu platformy a vozidla

Pro dosažení všech potřebných parametrů s požadovanou přesností při testování je nutné synchronizovat pohyb testovaného vozidla i figuríny, kde je povolena odchylka ± 3 cm [31]. Toto lze dosáhnout dvěma způsoby.

První možností je využití fotobuňky. Vozidlo jedoucí směrem ke kolizi přeruší světelný paprsek, což zaznamená fotocitlivý senzor a následně odesílá signál pro rozjezd figuríny pohonné jednotce. Za tímto paprskem musí být vozidlo ustálené na požadované rychlosti, bez možnosti dalšího zrychlování nebo zpomalení. Vozidlo může řídit člověk, nebo řídicí robot (viz obrázek 4.15), který je schopen koordinovat trajektorii a rychlost vozu s větší přesností než člověk. Pohyb platformy s figurínou je řízen softwarem, v němž jsou předem nastaveny všechny parametry dráhy, rychlosti a zrychlení.

Druhou možností je koordinace pohybu vozu a figuríny pomocí GPS. Méně sofistikovaný způsob zahrnuje využití přesného času GPS pro spuštění testu. Trajektorie a rychlostní profily jsou předem definovány tak, aby byla zajištěna synchronizace mezi vozidlem a figurínou v souladu s požadavky testu. V tomto případě je vozidlo vždy řízeno robotem.

4.4. SYNCHRONIZACE POHYBU PLATFORMY A VOZIDLA



Obrázek 4.14: Konstrukční řešení rádiem řízené platformy, Wuhan University of Technology [26]

(a) „in-wheel“ motor, (b) karoserie, (c) nosný rám, (d) systém zavěšení, (e) systém zatáčení



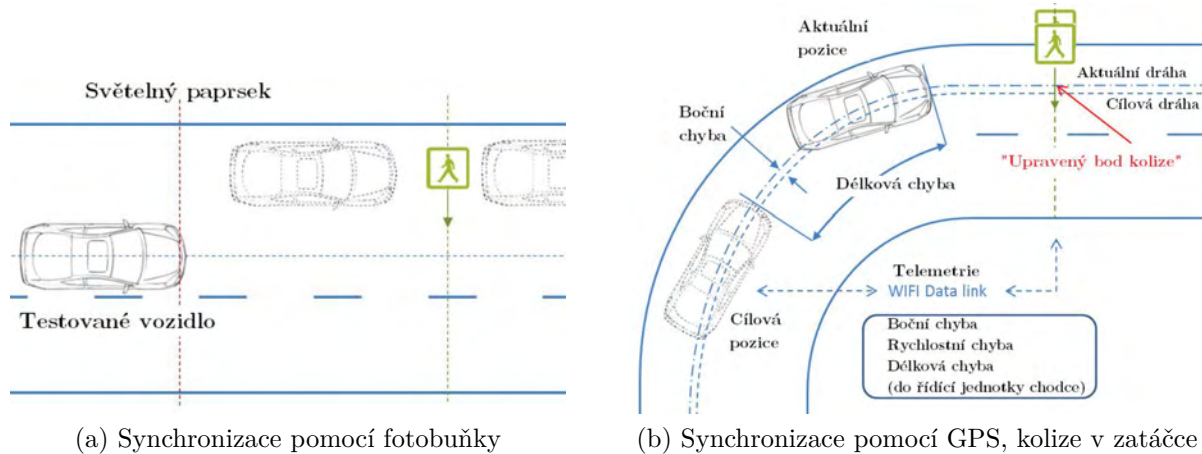
(a) Robotické ovládání volantu vozidla



(b) Robotické ovládání pedálů vozidla

Obrázek 4.15: Systém robotického řízení společnosti AB Dynamics [25]

Pokročilejší metoda spočívá ve využití GPS dat z vozidla pro nastavení rychlosti a polohy figuríny v reálném čase. Systém sbírá telemetrická data ve vozidle a odesílá je do řídicí jednotky, která upravuje rychlost figuríny tak, aby kompenzovala boční a časovou chybu vozidla. V tomto případě může být vozidlo řízeno člověkem [24].



(a) Synchronizace pomocí fotobuňky

(b) Synchronizace pomocí GPS, kolize v zatáčce

Obrázek 4.16: Synchronizace pohybu vozidla a figuríny [24]

Moderní systémy rádiem řízených platforem a řídicích robotů využívají technologii DGPS, neboli Differential Global Positioning System, jde o vylepšení běžného Globálního polohovacího systému (GPS). DGPS využívá síť pevných pozemních referenčních stanic, které vysílají korekční signály pro zlepšení přesnosti určování polohy.

Klasický GPS systém má obvyklou přesnost polohování v řádu několika metrů. Tato nepřesnost je způsobena různými faktory, jako jsou například chyby v hodinách GPS satelitů, atmosférické vlivy, nebo chyby v geografickém modelu Země, který je v systému GPS použit.

DGPS systém řeší tyto problémy tak, že využívá pevnou referenční stanici s přesně známou polohou, která přijímá signály od GPS satelitů a vypočítává korekční údaje pro každý satelit. Tyto korekční údaje jsou poté vysílány k GPS přijímačům v blízkosti, které je mohou využít pro korekci svých vlastních výpočtů polohy.

Výsledkem je značné zlepšení přesnosti polohování, často na úroveň několika decimetrů nebo dokonce centimetrů, což je výhodné v mnoha aplikacích, včetně geodézie, zemědělství, nebo právě v testování asistenčních systémů pro řidiče, kde je velká přesnost polohování klíčová [30].

5. Koncepční řešení platformy

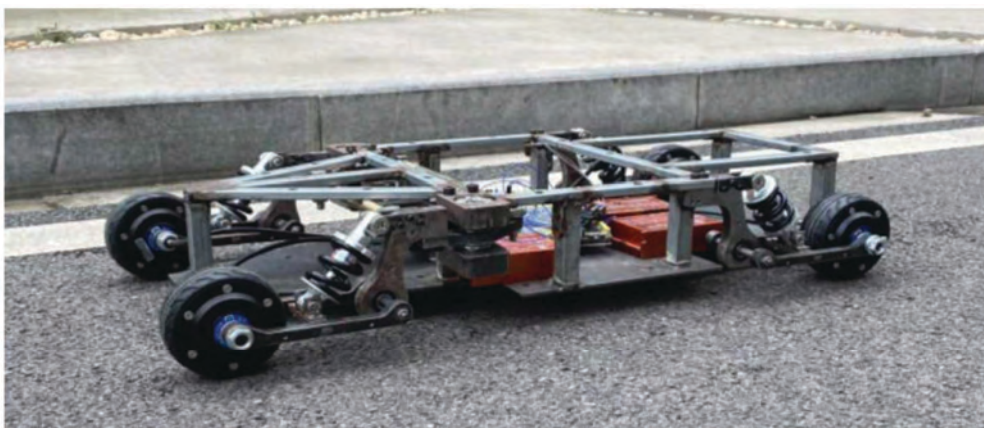
Tato kapitola se zaměřuje na porovnání různých konceptů pro řešení pevnostního rámu platformy, pohonu platformy a systému pro uchycení figuríny. Tyto prvky mají zásadní vliv na mechanické vlastnosti platformy, a proto je jim věnována samostatná kapitola. Ostatní komponenty, zejména elektrické a elektronické, mají v této oblasti méně významnou roli a jsou shodné pro různé koncepty platformy.

5.1. Rám platformy

Rám platformy tvoří nejdůležitější konstrukční celek co se týká pevnosti platformy, jeho koncept je třeba vybrat s ohledem na strukturální pevnost, hmotnost a vyrobitelnost pro potřeby prototypu. Existují dva základní přístupy jak koncipovat nosný rám:

5.1.1. Rámová konstrukce (body-on-frame)

Jedním z možných řešení pro platformu je použití samostatného, nosného rámu (obr 5.1, který je integrovaný do krytu. Kryt je nutnou součástí platformy a slouží jako nájezdové rampy pro testované vozidlo v případě kolize. Nicméně, v tomto případě hlavní pevnostní strukturu platformy tvoří kryt, ale právě samostatný rám, který přenáší zatížení od vozidla při přejezdu.



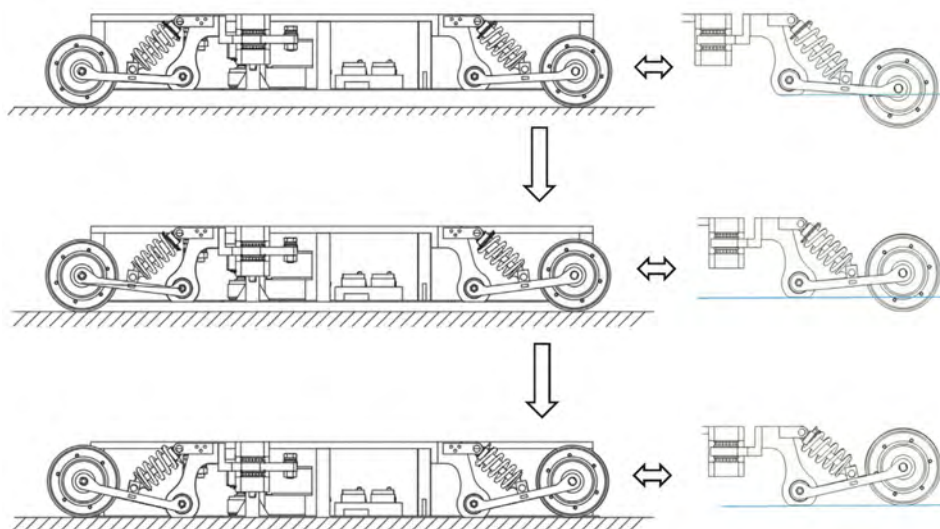
Obrázek 5.1: Rámová konstrukce platformy, Wuhan University of Technology [26]

Na obrázku 5.2 je vidět rám po dosednutí na zem v důsledku zatížení od vozidla. Rám v tomto případě přenáší zatížení od vozidla do vozovky. Pro výrobu rámu platformy se používají také obrobky nebo odlitky, zejména z hliníkových slitin. Nicméně, tento přístup je výhodnější pro sériovou výrobu.

5.1.2. Nosný kryt (monocoque)

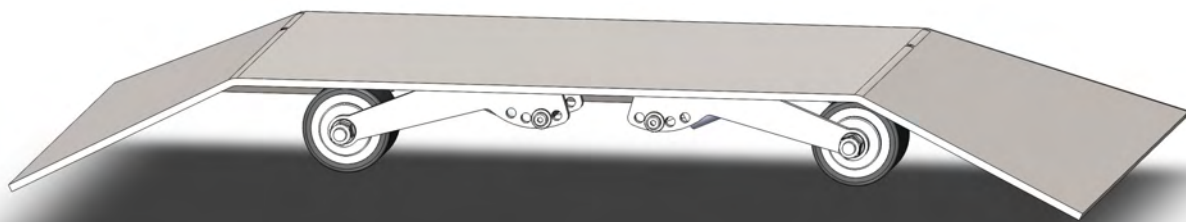
Druhým řešením je využití samotného krytu jako nosného prvku. Toto řešení nepotřebuje vestavěný rám, jelikož samotný kryt přenáší zatížení od testovaného vozidla v případě kolize. Toto řešení se hodí zejména pro menší platformy u kterých nehrozí velký průhyb v jejich geometrickém středu. Na kryt jsou však kladeny vyšší pevnostní nároky.

5. KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ PLATFORMY



Obrázek 5.2: Znárodnění dosednutí rámové konstrukce platformy, Wuhan University of Technology [26]

Na obrázku 5.3 je patrné řešení pomocí samonosné skořepiny. Pokud na platformu vjede vozidlo, dojde ke stlačení odpružení kol a skořepina se dotkne vozovky po celém svém obvodu. Síly od tíhy vozidla jsou následně přenášeny do vozovky obvodem platformy.



Obrázek 5.3: Řešení platformy s nosnou skořepinou

První řešení pomocí nosného rámu (5.1.1) nabízí výhodnější silové rozložení oproti samonosnému krytu, což snižuje nároky na materiál. U této koncepce je možné vyměnit kryt a změnit jeho geometrii nebo materiál, což může být výhodné během vývoje, pokud se prokáží nedostatky v prototypu. Na druhou stranu je toto řešení horší z pohledu hmotnosti. Obecně je toto řešení vhodnější pro velké testovací platformy, které slouží pro pohyb s modely aut v měřítku 1:1.

Druhý přístup využívající samonosný kryt vyžaduje vyšší nároky na materiál, pro zajištění dostatečně malých průhybů, nicméně to lze řešit žebrováním a zejména menší velikostí platforem, právě pro malé platformy je toto řešení vhodné. Výhodou tohoto řešení je zpravidla nižší hmotnost, jelikož hlavní nosný prvek tvoří samotný kryt a není proto potřeba vestavěného rámu, také výroba může být jednodušší a vnitřek platformy prostornější, jelikož není potřeba kombinovat prvky rámu i krytu dohromady. Toto řešení bylo vybráno pro tuto diplomovou práci pro své nesporné výhody v případě menší platformy, což je i cílem této diplomové práce.

5.2. Podvozek platformy

Kola platformy, jejich zavěšení, odpružení a pohon (dále jen podvozek platformy) se ukázaly jako klíčové prvky návrhu, kterým je třeba věnovat zvláštní pozornost. Podvozek musí vydržet vysoké zatížení, přičemž je třeba brát v potaz, že vozidlo může na platformu najet z různých směrů, včetně diagonálního (viz kapitola 3.2 Scénáře testu).

Kola platformy samy o sobě nemohou nést tíhu vozidla, proto musí být vytvořen systém, který umožní kolům „zasunout“ se při zatížení, snížit podvozek o světlost výšku a opřít nosnou konstrukci o vozovku, aby mohla přenést síly zatížení.

Konvenční automobilové uspořádání s jedním motorem a rozvodem kroutícího momentu ke kolům bylo zavrženo již v počátcích práce. Takový systém vyžaduje hodně místa na veškeré mechanické komponenty (převodovka, poloosy, diferenciály atd.) a je celkově mechanicky složitý. Mnohem výhodnější se zde ukázala koncepce, kdy má každé hnané kolo vlastní motor. Tento systém je mechanicky účinnější, vyžaduje méně místa a je spolehlivější díky absenci většiny mechanických prvků. V kombinaci s příslušnou elektronikou umožňuje systém řešit softwarově diferenciaci kol při zatáčení a poskytuje prvky jako kontrolu trakce apod. (více v kapitole 6.2 ESC).

Systém podvozku musí být dostatečně odolný a spolehlivý v každé situaci. V této kapitole jsou rozebrány dvě varianty pohonu, to je motor mimo kolo a v kole.

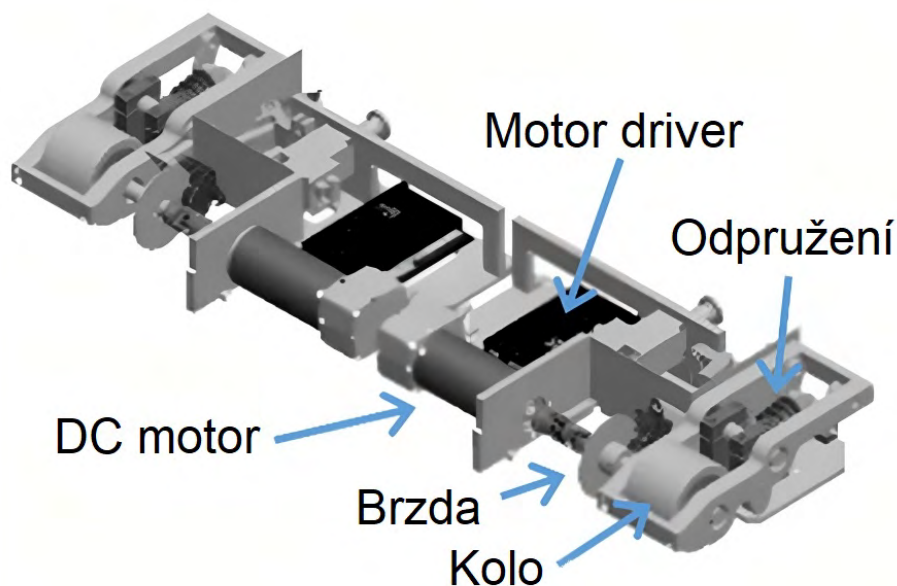
5.2.1. Motor mimo kolo

Jedním z možných řešení pohonu vozidla je umístění motoru mimo kola. Tento koncept umožňuje použít menší kola při vyšším výkonu, protože rozměry motoru nejsou limitovány velikostí kola. Nicméně, přenos kroutícího momentu mezi motorem a kolem musí být flexibilní, což je obvykle řešeno pomocí kardanové hřídele, nebo řetězového převodu. To umožňuje pohyblivé zavěšení kol, zatímco motor zůstává statický. Na obrázku 5.4 je zobrazen koncept tohoto typu spolu s kotoučovou brzdou. Tento pohon je navržen pro testování „car-to-car“ scénářů a dosahuje vyšších rychlostí a hmotností než platformy určené pro figuríny chodců a cyklistů. V této práci se však zabýváme menší a lehčí platformou, pro kterou jsou mechanické brzdy zbytečné. Decelerace naší platformy nepotřebuje být příliš vysoká a proto bude bohatě dostačující elektrodynamické brzdění elektromotory.

5.2.2. Motor v kole

Tento systém se nazývá „in-wheel“ nebo „hub-motor“ a má několik výhod oproti konvenčnímu pohonu. Jednou z hlavních výhod je, že umožňuje lepší využití prostoru v podvozku, což zvyšuje vnitřní prostor a snižuje celkovou hmotnost platformy. Systém také eliminuje ztráty energie způsobené převodem výkonu od motoru ke kolům a tím zvyšuje účinnost pohonu. Díky menšímu počtu rotujících částí má systém také menší moment setrvačnosti, díky čemuž lze otáčky motoru řídit velmi přesně a rychle, tomu napomáhá i eliminace vůlí v převodech. Řešení s motory v kolech je vidět na obrázku 5.1 v kapitole 5.1.1 Nosný rám.

Díky dostupnosti vhodných „in-wheel“ motorů na trhu a díky svým výhodám byla tato koncepce zvolena jako výchozí pro návrh pohyblivé platformy. Konkrétní motory jsou rozebrány v kapitole 6.1.2 Volba motorů.



Obrázek 5.4: Pohon s motorem mimo kolo, Kookmin University, Korea [27]

5.3. Uchycení figuríny

Pro správnou funkčnost platformy je důležité zajistit správné uchycení figuríny. Asociace evropských konstruktérů vozidel (ACEA) stanovila maximální hmotnost figurín na **4 kg** pro dítě, **7 kg** pro dospělého [31] a **11 kg** [29] pro cyklistu. Je také nezbytné mít systém, který bude okamžitě odemknut po nárazu, aby se minimalizovaly škody a předešlo se vážnému poškození.



Obrázek 5.5: Uchycení figuríny AB dynamics [24]

Obrázek 5.5 ukazuje řešení společnosti AB Dynamics pro uchycení figuríny. I když se zdá, že všechny společnosti, které se touto problematikou zabývají, využívají podobný systém, informace o funkční stránce jsou obtížně dostupné. Navíc není standardizované provedení uchycení figuríny.

Na obrázku 5.6 je zobrazen systém, který umožňuje vysunutí tyče figuríny ve směru od kolize, otevřenou stranou T-drážky krycího dílce. nicméně, je třeba počítat s možností problémů, jako je páčení figuríny atd. Proto musí být celý krycí dílec oddělitelný od platformy. Zde se nabízí dva způsoby jak toho docílit.

5.3. UCHYCENÍ FIGURÍNY



Obrázek 5.6: Zámek figuríny AB dynamics [32]

5.3.1. Uchycení plastovými šrouby

První možností pro uchycení figuríny, resp. krycího dílce je použití plastových šroubů, které se přetrhnou v případě problematického nárazu a uvolní tyč s figurínou. Toto řešení je konstrukčně jednoduché, cenově nenákladné a zajišťuje dostatečnou sílu úchyty. Na druhou stranu má tento způsob horší opakovatelnost, protože po přetržení musí být šrouby vyměněny za nové. Je také téměř jisté, že ulomená část šroubu zůstane v platformě, takže je třeba tuto část odvrtnat nebo odstranit plast ze závitové díry. Tyto operace jsou časově náročné a při neopatrném provedení mohou vést k poškození závitu.

5.3.2. Uchycení pomocí magnetů

Druhá zvažovaná možnost je integrovat do krycího dílce neodymové magnety, které budou držet dílec na platformě. V takovém případě je potřeba platformu opatřit plochou z oceli, jelikož platforma samotná je ze slitiny hliníku a není tedy feromagnetická. Ocel také odstíní magnetické pole v případě že se pod krytem platformy nachází elektronika, která by mohla být tímto polem ovlivněna. Ocelový plech je vidět i na obrázku 5.6. Neodymové magnety jsou k dispozici v různých velikostech a s různou přitažlivou silou, takže lze vybrat magnety s požadovanými parametry.

Nevýhodou tohoto řešení je složitější konstrukce a vyšší cena, ale v kontextu celé platformy jsou tyto faktory zanedbatelné. Výhodou je vysoká opakovatelnost a snadný provoz testů.

Vzhledem k daným vlastnostem obou řešení bylo rozhodnuto, že pro naši platformu bude výhodnější zvolit druhý způsob s neodymovými magnety.

6. Výběr elektronických a elektrických komponent

Tato kapitola se zaměřuje na výběr elektronických a elektrických komponent pro zvolené koncepční řešení platformy. Pro dosažení optimálního výkonu a spolehlivosti je důležité pečlivě vybírat vhodné komponenty, které budou splňovat požadavky zejména na funkčnost, odolnost vůči vnějším vlivům a kompatibilitu s ostatními součástmi systému. Součástí procesu výběru je také zhodnocení možností integrace komponent do celkového návrhu platformy.

6.1. Motory

Motory platformy jsou prioritou při výběru elektronických komponent, jelikož mají zásadní vliv na dosažení cílených parametrů jako je rychlost a zrychlení. Volba motorů tvoří základ, který následně ovlivňuje výběr ostatních součástí.

Charakteristika celé platformy je do značné míry určována motory. Nejenže specifikují rychlost a zrychlení, ale také mají vliv na energetickou náročnost a výdrž akumulátorů. Další elektronické komponenty, jako jsou regulátory otáček (ESC) a akumulátory, musí být vybrány s ohledem na kompatibilitu s vybranými motory.

6.1.1. Výpočty pro volbu motorů

Prvním krokem při výběru motorů je stanovení potřebných parametrů pro dosažení potřebného zrychlení a rychlosti platformy. Tyto hodnoty vychází z norem EuroNCAP a jsou definovány v kapitole 3.2 konkrétně v tabulkách 3.1 (auto-chodec) a 3.2 (auto-cyklista). Z pohledu nároků na motory jsou relevantní testy s krátkou dráhou pro zrychlení a s vysokou konečnou rychlostí, testy s touto kombinací jsou vypsány v tabulce 6.1, zrychlení a bylo dopočítáno.

Název testu (zkratka)	CPFA	CPNA	CBLA - AEB	CBLA - FCW
Figurína	Chodec	Chodec	Cyklista	Cyklista
S_a [m]	1,50	1,00	3,50	6,20
v [m/s]	2,22	1,39	4,17	5,56
t [s]	1,35	1,44	1,68	2,23
a [m/s ²]	1,65	0,96	2,48	2,49

Tabulka 6.1: Parametry relevantních testů Euro NCAP

Kde S_a [m] je dráha pro zrychlení, v [m/s] je konečná rychlost platformy, a [m/s²] je zrychlení platformy, t [s] je čas potřebný pro zrychlení.

Z tabulky je vidět že nejnáročnější test je CBLA-FCW, proto jsou jeho parametry použity jako výchozí pro volbu motorů. Pro určení parametrů motorů budeme dále po-

6.1. MOTORY

třebovat určit dynamické a statické odpory pohybu platformy. Síla od odporu prostředí se určí z rovnice 6.1, tato rovnice zahrnuje odpor figuríny i platformy.

$$F_r = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot (C_c \cdot S_c + C_p \cdot S_p) \text{ [N]} \quad (6.1)$$

Kde:

$\rho = 1,20 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	je hustota prostředí (vzduch při 20 °C) [36]
$C_c = 1,10 \text{ [-]}$	je součinitel aerodynamického odporu cyklisty [33]
$S_c = 1,70 \text{ m}^2$	je čelní plocha cyklisty ve směru jízdy [33]
$C_p = 0,25 \text{ [-]}$	je součinitel aerodynamického odporu platformy [34]
$S_p = 62,82 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$	je čelní plocha platformy ve směru jízdy

Pro konstanty z předchozí rovnice zavedeme označení k , rovnice pro tento koeficient pak vypadá následovně (6.2):

$$k = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (C_c \cdot S_c + C_p \cdot S_p) \text{ [N]} \quad (6.2)$$

Hodnoty C_c a S_c jsou relativně dobře dostupná data, díky sportovní cyklistice. Plocha S_p byla odměřena z modelu platformy a koeficient C_p byl získán interpolací podobných, definovaných tvarů.

Dalším krokem je získání statických odporů, tedy valivého odporu kol. Ten získáme z rovnice momentové rovnováhy na (nehnané) kolo, po úpravě vypadá rovnice následovně 6.3:

$$F_v = m \cdot g \cdot \frac{\xi}{r} \text{ [N]} \quad (6.3)$$

Formule 6.4 pak znázorňuje naši pohybovou rovnici. V rovnici jsme zanedbali odpor valivých ložisek a odpor od zrychlení rotujících částí. Důvodem je, že jejich podíl na celkové síle odporu je zanedbatelný. Díky tomu, že jsme použili koncept hub-motorů, jsou jediné rotující části rotory motorů. Ty se skládají pouze z věnce s permanentními magnety a gumou, přičemž nepotřebujeme převodovku ani jiné komponenty pohonu.

$$\frac{P}{v} - k \cdot v^2 - F_v = m \frac{dv}{dt} \quad (6.4)$$

Vyjádření výkonu z pohybové rovnice:

$$P = (O_{zrychleni} + O_{valeni} + O_{prostredi}) \cdot v \text{ [W]} \quad (6.5)$$

$$P = m \cdot a \cdot v + F_v \cdot v + k \cdot v^3 = 903,65 \text{ W} \quad (6.6)$$

Vyjádření potřebného kroutícího momentu, pro dosažení požadovaného zrychlení vychází z rovnice 6.7. Výsledný kroutící moment připadá na jeden motor.

$$M_k = \Sigma O_i \cdot r \cdot \frac{1}{n_m} \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (6.7)$$

6. VÝBĚR ELEKTRONICKÝCH A ELEKTRICKÝCH KOMPONENT

$$M_k = (m \cdot a + F_v + k \cdot v^2) \cdot r \cdot \frac{1}{n_m} = 1,42 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (6.8)$$

Kde:

$m = 40,00 \text{ kg}$	je odhadovaná hmotnost platformy včetně figuríny cyklisty
$g = 9,81 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-2}$	je normální tíhové zrychlení
$\xi = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$	je rameno valivého odporu pro materiály: tvrdá pryž - asfalt
$r = 35 \cdot 10^{-3} \text{ m}$	je poloměr předběžně vybraného kola platformy
$n_m = 4,00$	je počet motorů platformy

6.1.2. Volba motorů

Na základě výpočtů v předchozí kapitole byl vybrán motor MTO7052HBM (obrázek 6.1) jako nejvhodnější volba ze všech dostupných motorů na trhu, díky jeho optimálnímu poměru vnějšího průměru a výkonu. „In-wheel“ motory s menším vnějším průměrem než 70 mm nejsou běžně vyráběny. Současně vnější průměr motoru určuje výšku platformy, což je důležité pro bezpečné přejetí vozidlem v případě kolize. Tento vybraný motor má také vyšší výkon než většina jiných motorů, protože pracuje s napětím 42 V, zatímco ostatní motory obvykle pracují s maximálním napětím 36 V.



Obrázek 6.1: Motor MTO7052HBM výrobce Maytech [37]

Motor je typu BLDC (Brushless direct current), v překladu bezkartáčový stejnosměrný motor. Jedná se o typ elektrického motoru, který využívá elektroniku pro komutaci, což znamená, že namísto mechanických kartáčů používá polovodičové spínací prvky. BLDC tedy pro svou funkci vyžaduje elektronický regulátor otáček, který mění stejnosměrný proud z baterií na střídavý, tří-fázový (více v kapitole 6.2 ESC). Přímou na cívky motoru je tedy přiváděn třemi vodiči střídavý proud, proto může být označení „DC motor“ matoucí, nicméně je mezinárodně používané. V české modelářské komunitě se vžil označení „střídavý motor“ nebo jen „střídák“.

Rotor BLDC motoru obsahuje permanentní magnety, které vytvářejí stálý magnetický tok. Stator, pevná část motoru, obsahuje cívky, jež vytvářejí střídavé magnetické pole. Toto pole se synchronizuje s rotorem a způsobuje jeho otáčení, jedná se tedy o **synchro**ní motor. Díky elektronické komutaci dochází ke snížení opotřebení a prodloužení životnosti motoru. BLDC motory mají vyšší účinnost než tradiční stejnosměrné motory s kartáči, protože se eliminují energetické ztráty způsobené třením a jiskřením mezi kartáči a komutátorem. Absence kartáčů zajišťuje delší životnost a nižší potřebu údržby. Navíc

6.2. ESC

jsou tyto motory tišší a méně vibrující díky absenci kartáčů a komutátoru. BLDC motory poskytují větší rozsah otáček a lepší regulaci otáček, což je užitečné pro aplikace vyžadující přesnou kontrolu rychlosti. Použití permanentních magnetů a vyšší účinnost umožňují konstrukci menších a lehčích motorů při stejném výkonu.

Na obrázku 6.2 a) je patrný rotor motoru, který se skládá z věnce permanentních neodymových magnetů uložených v duralovém pouzdře. Vnější strana pouzdra je opatřena běhounem z pryže, který je možné v případě opotřebení vyměnit za nový.

Na obrázku 6.2 b) se nachází stator motoru s vinutím a PCB deskou, na které jsou umístěny senzory. Motor obsahuje 3 Hall-senzory a termistor typu NTC, což umožňuje velmi přesnou regulaci otáček motoru a sledování teploty v případě přetížení.



(a) Rotor motoru



(b) Stator motoru

Obrázek 6.2: Rozložený motor MTO7052HBM výrobce Maytech [37]

Parametr	Hodnota
Provozní napětí	$U_m = 24 - 42 \text{ V}$
Špičkový proudový odběr	$I_m = 22 \text{ A}$
Nominální výkon	$P_m = 450 \text{ W}$
Kroutící moment	$M_m = 2,3 \text{ N} \cdot \text{m}$
Konstanta rychlosti motoru	$K_{v_m} = 60 \text{ min}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$
Vnější průměr kola	$D_m = 70 \text{ mm}$

Tabulka 6.2: Vybrané parametry motoru MTO7052HBM [37]

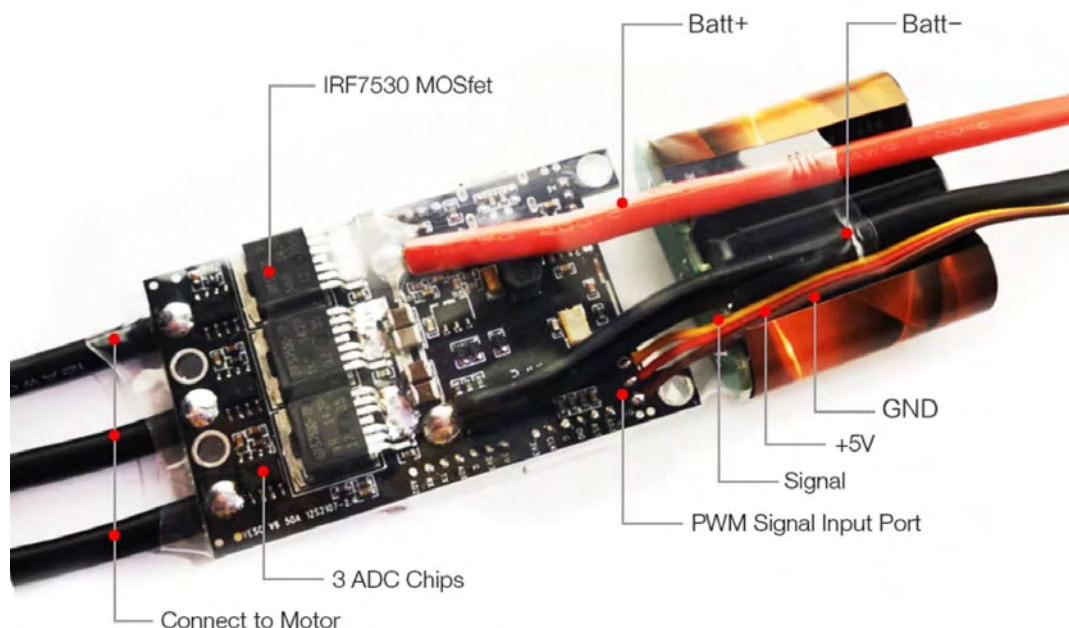
6.2. ESC

Elektronický rychlostní regulátor (ESC - Electronic Speed Controller) je zařízení používané pro řízení rychlosti a točivého momentu elektrických BLDC motorů. ESC regulátor přijímá signály z RC přijímače a podle požadavků upravuje frekvenci střídavého proudu, kterým napájí BLDC motor. Na výstupu do motoru využívá ESC PWM modulaci jako náhradu spojitého sinusového profilu napájecího proudu pro motor. Motor je napájen třemi vodiči, jedná se tedy o třífázový proud s posunutím fázoru o 120° u každé fáze. Funkce ESC je velmi podobná klasickému frekvenčnímu měniči, běžně používanému k řízení AC

6. VÝBĚR ELEKTRONICKÝCH A ELEKTRICKÝCH KOMPONENT

motorů. ESC je však napájeno stejnosměrným proudem z akumulátoru, což znamená, že kombinuje funkci DC/AC měniče navíc k řízení rychlosti motoru.

Pro potřeby této práce byl vybrán ESC SUPERFOC6.8 50 A V6 od firmy Maytech (obrázek 6.2), Jedná se o tzv. VESC.



Obrázek 6.3: ESC SUPERFOC6.8 50 A V6 od firmy Maytech [37]

Parametr	Hodnota
Maximální konstantní proud	$I_r = 50 \text{ A}$
Maximální špičkový proud	$I_{r_{max}} = 240 \text{ A}$
Provozní napětí	$U_r = 12,6 - 50 \text{ V}$
BEC	$U_{BEC} = 5 \text{ V}$

Tabulka 6.3: Vybrané parametry ESC SUPERFOC6.8 50 A V6 [37]

VESC, což je zkratka pro Vedder Electronic Speed Controller, je otevřený a vysoce konfigurovatelný elektronický rychlostní regulátor vyvinutý Benjaminem Vedderem pro řízení BLDC motorů. Díky jeho flexibilitě a širokému spektru nastavení se VESC stal populárním řešením pro řízení motorů v různých aplikacích, zejména v komunitě elektrických skateboardů, kol a dalších elektrických vozidel.

VESC SUPERFOC6.8 50A V6 je kompatibilní se sensorovými BLDC motory, přímo na PCB desce regulátoru je pro tyto účely připravený port pro 3 Hall-senzory a termistor (viz obrázek 6.4). VESC nabízí mnoho řídicích režimů, včetně hladkého rozběhu, regenerativního brzdění, omezení kroutícího momentu, dále ochranu baterií proti podvybití, ochranu proti přepětí a další.

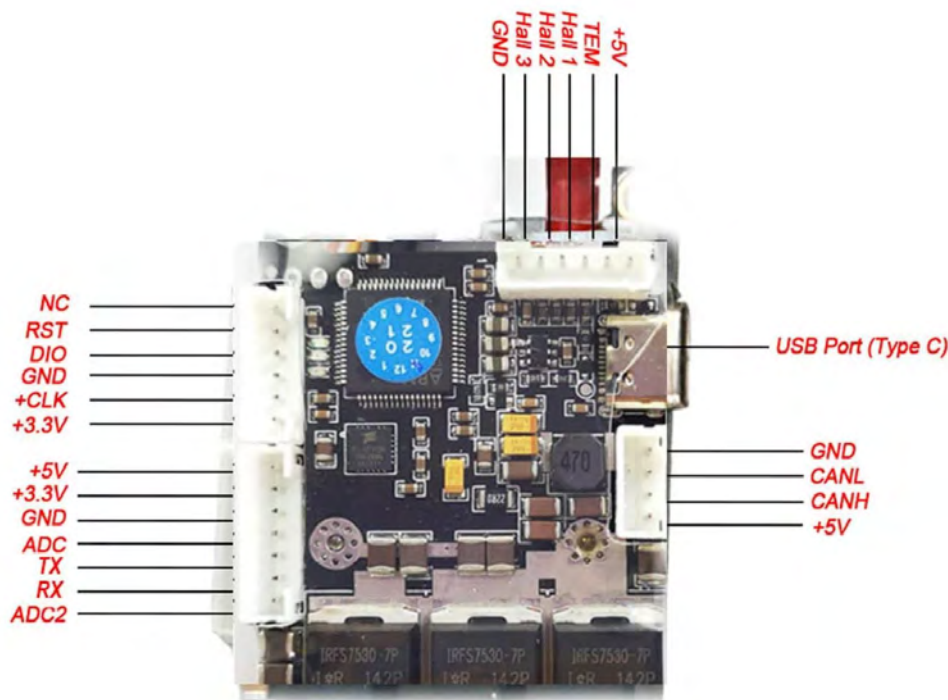
Platforma s čtyřmi hnanými „in-wheel“ koly vyžaduje čtyři samostatné VESC regulátory, jeden pro každý motor. Tyto regulátory jsou mezi sebou propojeny sběrníci CAN bus, která umožňuje komunikaci mezi jednotlivými regulátory. Díky tomuto propojení mají regulátory schopnost synchronizovat otáčky a kroutící moment všech kol.

6.3. AKUMULÁTOR

Dále podporuje komunikaci s řídicí jednotkou prostřednictvím různých protokolů, jako je UART, PPM, CAN bus nebo USB, což umožňuje získávat telemetrické údaje, jako je aktuální rychlost, napětí, proud a teplota motoru, pro sledování a optimalizaci výkonu. V případě platformy, kterou se zabývá tato, bude pro řízení regulátoru použit PWM signál z přijímače. Zpětná telemetrická data lze získávat prostřednictvím některého z dříve zmíněných protokolů, což je podrobněji popsáno v kapitole 6.4.2. Regulátor umožňuje připojení Bluetooth modulu a zobrazení telemetrických dat, například na tabletu. V našem případě se však jeví jako výhodnější řešení posílat data do vysílače a až poté je zobrazovat na některém zařízení, což je podrobněji popsáno v kapitole 6.4.3.

Konfigurace samotného regulátoru je možná prostřednictvím softwaru s grafickým rozhraním, kterým je VESC Tool. Tento nástroj umožňuje snadné nastavení parametrů regulátoru a jeho ladění pro optimální výkon a řízení motoru v rámci platformy.

Jedním z hlavních důvodů, proč je VESC oblíbený, je jeho open-source povaha, což umožňuje vývojářům přidávat další funkce nebo upravovat existující algoritmy. Díky tomu se VESC stal ideálním řešením pro vývojové projekty a inovace v oblasti elektrické mobility. Tato vlastnost otevírá možnosti dalšího vývoje platformy v oblasti elektroniky nebo například autonomního řízení.



Obrázek 6.4: Pinout konektorů SUPERFOC6.8 50A V6 od firmy Maytech [37]

6.3. Akumulátor

Akumulátor ¹ slouží k napájení celého systému platformy a skládá se z článků s nominálním napětím U [V] a kapacitou C [Ah]. Při sériovém zapojení se nominální napětí článků sčítá, zatímco při paralelním zapojení se kapacity článků sčítají. Tento postup umožňuje nakonfigurovat články tak, aby odpovídaly požadovaným parametrům akumulátoru.

¹Akumulátor - lze nabíjet, baterie - nelze nabíjet

6. VÝBĚR ELEKTRONICKÝCH A ELEKTRICKÝCH KOMPONENT

Tyto principy platí pro všechny typy akumulátorů a článků, které jsou v této kapitole uvažovány.

Vzhledem k motorům a ESC, které byly popsány v předchozích kapitolách, je nutné akumulátor nadimenzovat na jmenovité napětí přibližně 42 V a musí být schopný poskytnout proudový odběr 88 A, protože každý ze čtyř motorů má špičkový odběr 22 A. Obecně platí, že kapacita akumulátoru určuje maximální proud, který může být poskytnut. Tento poměr se vyjadřuje pomocí násobku kapacity C. Například, pokud má akumulátor kapacitu 10000 mAh a povolený vybíjecí proud 2 C, je baterie schopna poskytnout konstantní proud $10 \cdot 2 = 20A$. Kapacita akumulátoru také určuje její výdrž, doba provozu platformy na jedno nabití přímo závisí na kapacitě akumulátoru, takže se vyplatí volit co největší kapacitu. Nicméně je třeba mít na paměti, že konstrukční a rozměrové možnosti platformy jsou omezené.

Pro účely platformy jsou relevantní čtyři typy akumulátorů: LiFePO4 (lithium-železo-fosfátové), LiIon (lithium-iontové), LiPol (lithium-polymerové) a LiPoHV (lithium-polymerové-vysokonapěťové) akumulátory, které se liší svými vlastnostmi a použitím. LiPoHV akumulátory mají nejvyšší energetickou hustotu, což znamená, že mohou poskytnout více energie při stejné hmotnosti. Na druhé straně LiFePO4 akumulátory mají nejnižší energetickou hustotu a jsou větší a těžší při stejné kapacitě. LiPol a LiIon akumulátory se pohybují v energetické hustotě mezi těmito dvěma typy [39].

LiFePO4 akumulátory mají z těchto tří typů nejdelší životnost, která se obvykle pohybuje okolo 2000 cyklů nabíjení a vybíjení. LiIon akumulátory mají životnost kolem 1200 cyklů a LiPol akumulátory mají kratší životnost, obvykle kolem 800 cyklů. Nicméně, některé moderní LiIon baterie mohou dosáhnout až 1500 cyklů.

LiFePO4 akumulátory jsou považovány za nejbezpečnější z těchto čtyř typů, díky své termické stabilitě a odolnosti vůči teplotnímu průniku. LiIon, LiPol a LiPoHV baterie mohou být náchylnější k poškození a jsou více náchylné k vznícení nebo explozi při zkratu nebo přetížení, i když moderní akumulátory jsou vybaveny ochranou proti těmto rizikům [40].

LiPol a LiPoHV akumulátory mají výhodu ve flexibilitě tvaru, protože jejich konstrukce umožňuje vytvářet baterie různých tvarů a velikostí, což je užitečné pro aplikace s omezeným prostorem. LiIon a LiFePO4 akumulátory mají obvykle pevnější, válcovou konstrukci v omezených velikostech.

LiPol a LiPoHV akumulátory obvykle nabízejí nejvyšší nabíjecí a vybíjecí proudy ze všech tří typů. Li-Ion baterie mají střední nabíjecí a vybíjecí rychlosti, zatímco LiFePO4 akumulátory mají obecně nejnižší rychlosti.

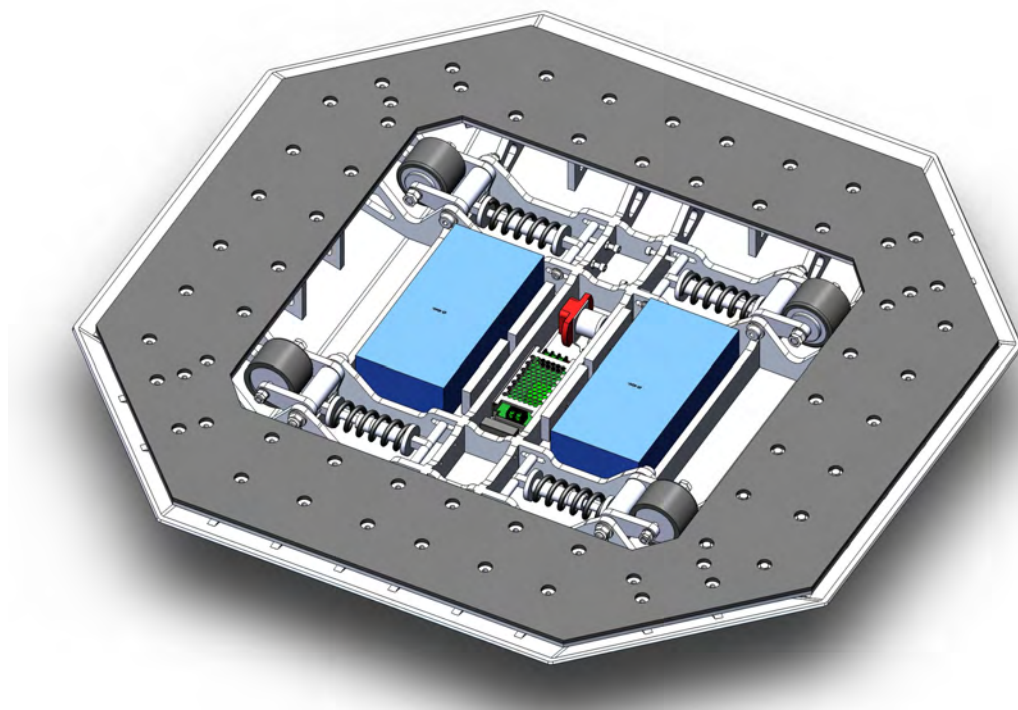
Typ akumulátoru	LiPol	LiPoHV	LiIon	LiFePo4
Jmenovité napětí článku	3,70 V	3,80 V	3,80 V	3,30 V
Maximální napětí	4,20 V	4,30 V	4,10 V	3,60 V
Minimální napětí	3,00 V	3,00 V	3,00 V	2,80 V
Energetická hustota	140 Wh/kg	165 Wh/kg	120 Wh/kg	100 Wh/kg
Počet cyklů	800	800	1200	2000
Nabíjecí proud	1 až 3 C	1 až 3 C	0,5 C	1 C

Tabulka 6.4: Porovnání parametrů vybraných baterií [38]

6.3. AKUMULÁTOR

LiIon akumulátory mají ze všech zmíněných typů nejnižší cenu, ale po bližším prozkoumání jejich parametrů a možností trhu byly vyhodnoceny jako nevhodné, zejména kvůli jejich nízkému nabíjecímu a vybíjecímu proudu. Je třeba mít na paměti, že požadovaný proudový odběr 88 A je poměrně náročný parametr, který musí být akumulátorem bezpečně zvládnut.

Hlavním parametrem pro výběr akumulátoru se stal úložný prostor platformy, jak je vidět na obrázku 6.5. Akumulátor musí být dostatečně malý, aby se vešla mezi žebrování nosného krytu a neměla příliš velkou výšku, aby se nedotýkala vozovky při dosednutí platformy. LiPo a LiPoHV akumulátory jsou vyráběny v dostatečně širokém rozsahu variant, aby bylo možné vybrat vhodnou velikost. Na druhé straně je výběr LiFePo4 akumulátorů na trhu omezenější a neobsahuje rozměrově vhodné varianty. Do platformy byl nakonec vybrán LiPoHV akumulátor **Tattu 40000 mAh 22.8 V 10C 6S1P** od výrobce Gens (viz obrázek 6.6). Tato firma je obecně považována za výrobce velmi kvalitních akumulátorů. Tyto akumulátory jsou výrobcem osazeny konektory AS150, ty jsou pro potřeby platformy nahrazeny konektory **XT90**, které jsou vhodnější variantou. Tyto konektory jsou také v blokovém schématu zapojení 8.



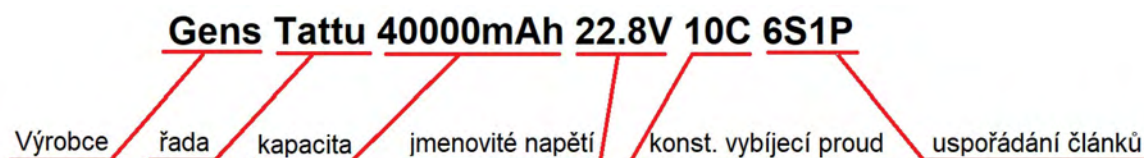
Obrázek 6.5: Pohled na spodní stranu platformy, bez krytu akumulátorů (modré kvádry)

Označení uspořádání článků 6S1P znamená, že uvnitř akumulátoru je 6 článků zapojených sériově a 1 paralelně, z čehož vychází i výsledné jmenovité napětí 22,8 V ($6 \cdot 3,8 = 22,8$ V). Pro dosažení požadovaného napětí je třeba použít dva takovéto akumulátory, jak je vidět na obrázku 6.5, a zapojit je do série. Výsledné uspořádání všech článků bude tedy 12S1P.



Obrázek 6.6: Akumulátor Gens Tattu 40000 mAh 22.8 V 10C 6S1P [41]

Parametry akumulátoru jsou vepsány již v jeho názvu, jak ukazuje obrázek 6.7.



Obrázek 6.7: Označení zvoleného akumulátoru

Výsledné parametry zdvojeného akumulátoru:

- Nominální napětí: $U_a = 45,5 \text{ V}$
- Nominální kapacita: $C_a = 40,0 \text{ Ah}$
- Max. proud odběr: $I_a = 400 \text{ A}$

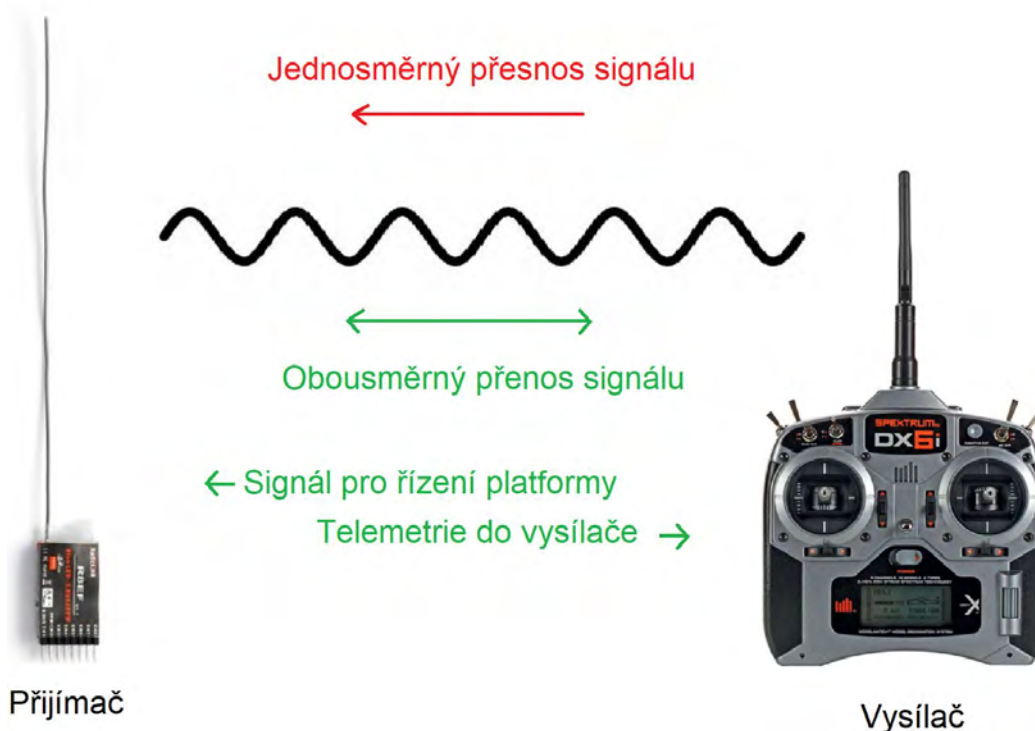
Závěrem je třeba zmínit, že stabilita a velká životnost LiFePo₄ akumulátorů jsou velmi ceněnými výhodami, zejména v provozu, kdy hrozí neodborné zacházení nebo skladování. LiPol a LiPoHV jsou velmi citlivé na podvybití, což může nastat například v případě, kdy je baterie ponechána ve vybitém stavu po delší dobu po posledním použití nebo kdy je skladována na jiném napětí než skladovacím (kolem 3,8 - 3,9 V na článek), což snižuje jejich životnost. Na druhé straně jsou LiFePo₄ akumulátory vůči těmto faktorům mnohem odolnější.

Pro potřeby prototypu platformy je LiPoHV nejvhodnější variantou i kvůli podstatně nižší ceně v porovnání s LiFePo₄. Nicméně v budoucím vývoji projektu by bylo vhodné zvážit použití na zakázku vyráběných LiFePo₄ akumulátorů. Na trhu existuje mnoho firem, které se specializují na sestavování těchto akumulátorů. Tyto firmy propojují jednotlivé články paralelně či sériově pomocí bodového navařování na niklový plíšek, čímž lze vyrobit akumulátor, který by vyhovoval napětím, kapacitou i tvarem.

6.4. Systém dálkového řízení

Systém dálkového řízení, často označovaný jako RC systém (z anglického Remote Control), je elektronický systém, který umožňuje ovládat a řídit zařízení nebo platformu na dálku. V oblasti robotiky a autonomních systémů se dálkový řídicí systém obvykle skládá ze dvou částí: ovladače a přijímače signálu na straně řízeného zařízení, což platí i pro náš konkrétní případ.

Ovladač funguje jako vstupní zařízení, které umožňuje uživateli ovládat a řídit robotickou platformu. Na druhé straně, přijímač signálu je umístěn na řízené platformě a zodpovídá za přijímání signálů odeslaných ovladačem. Tyto signály jsou následně převedeny na odpovídající pohyby a akce, které řídí chování platformy.



Obrázek 6.8: Přenos signálů mezi vysílačem a přijímačem [45]

Princip funkce systému dálkového řízení je zobrazen na obrázku 6.8. Vysílač obsahuje ovládací prvky, jako jsou páky, tlačítka či kolečka, které jsou vybaveny senzory pro snímání polohy. Tyto senzory mohou být potenciometry nebo, v případě vyšší kvality, Hall-senzory. Elektronika vysílače zpracovává signály z těchto senzorů a přeměňuje je na elektromagnetický signál, který je vyslán pomocí antény. Vysílač tedy funguje jako aktivní prvek.

Přijímač zachycuje tento elektromagnetický signál a zpracovává jej na formát vhodný pro řízení ESC nebo, v jiných případech, servomotorů a dalších zařízení. Přijímač tedy působí jako pasivní prvek v systému dálkového řízení.

Vysílací frekvence, na kterých mohou operovat RC systémy, jsou dány legislativou. V České republice (a většině Evropy) se jedná o 27 MHz, 35 MHz, 40 MHz a 2,4 GHz. První tři frekvence se někdy označují jako FM vysílání podle modulace signálu, kterou využívají (Frequency Modulation). Avšak moderní RC systémy stále méně využívají tyto nízké frekvence, a v současnosti se běžně používá frekvence 2,4 GHz [42].

6. VÝBĚR ELEKTRONICKÝCH A ELEKTRICKÝCH KOMPONENT

Frekvence 2,4 GHz má řadu výhod, zejména nižší náchylnost k rušení signálu, vyšší datový přenos a možnost použití krátké antény vysílače (podobné anténám domácích Wi-Fi routerů, které operují ve stejném frekvenčním pásmu). Nevýhodou pásma 2,4 GHz je horší prostupnost prostorem. Pokud se mezi vysílačem a přijímačem nachází pevný objekt (např. strom), hrozí ztráta signálu. Nízké frekvence se proto stále používají v některých specifických aplikacích, které vyžadují řízení platform v prostředí s pevnými objekty, jako jsou například lesy.

Sdílení frekvenčního pásma 2,4 GHz s dalšími systémy (např. již zmíněná Wi-Fi) může způsobit rušení, zejména v zastavěných, městských oblastech, v budovách nebo obecně v blízkosti vysílačů operujících v této frekvenci. Přesto je stabilita signálu v těchto oblastech stále podstatně lepší než u nižších vysílacích frekvencí. Tato skutečnost spolu s možností přijímání telemetrických dat (viz kap. 6.4.1) činí 2,4 GHz systémy vhodnými pro naši platformu.

Při výběru RC systému je vhodné zvolit přijímač i vysílač od stejného výrobce, i když některé systémy mohou být vzájemně kompatibilní. Prvním zvažovaným systémem pro naši RC platformu je Duplex od firmy JETI model s.r.o. [43]. Tato česká společnost působí na trhu již od roku 1993 a za tu dobu si vybuodovala pověst jedné z nejlepších firem na světovém trhu, a to jak z hlediska kvality hardwaru, tak softwaru.

Zejména jejich přenosový protokol Duplex EX je známý svou spolehlivostí a bezpečností, což představuje hlavní výhodu oproti konkurenčním systémům a zatím se zdá být nepřekonaný. Nevýhodou tohoto systému je však jeho vysoká cena a uzavřenost. Firma JETI si totiž vyvíjí veškerý firmware samostatně a neposkytuje o něm mnoho interních informací, a vůbec nepodporuje open-source přístup.

Druhým zvažovaným systémem je systém od firmy FrSky, která působí na trhu od roku 2010. Během této doby získala mnoho příznivců po celém světě díky dobré kvalitě produktů za přijatelnou cenu. Tyto RC systémy patří do specifické skupiny, která využívá firmwary založené na OpenTx – open-source projektu. Díky obrovské základně uživatelů a vývojářů se OpenTx firmware rychle stal nejlepším dostupným firmwarem na světě.

Firma FrSky představuje jednoho z nejkvalitnějších výrobců systémů, které používají tento open-source firmware. RC systémy FrSky jsou kompatibilní s celou řadou dalších systémů, včetně přenosových protokolů od ostatních firem. Vzhledem ke svým vlastnostem se tento RC systém jeví jako nejlepší volba pro RC platformu, kterou se tato práce zabývá. Zejména je přínosná možnost modifikovat systém v budoucím vývoji projektu, například pro autonomní řízení platformy.

Cena je také důležitým faktorem. Pro srovnání, cena vysílače s přijímačem od firmy JETI začíná okolo 20 000 Kč, zatímco u firmy FrSky je startovní cena okolo 6 000 Kč (ceny platné ke květnu 2023). Tato rozdíl v ceně dělá FrSky atraktivnější volbou pro potřeby této diplomové práce.

6.4.1. Telemetrie

Jak je patrné z obrázku 6.8, komunikace mezi vysílačem a přijímačem může být dvoustranná, což znamená, že vysílač může také fungovat jako přijímač a naopak. V takovém případě jsou oba prvky považovány za aktivní. Tato funkcionalita je umožněna prostřednictvím moderních systémů, které v pásmu 2,4 GHz efektivně přijímají i vysílají signál. Samozřejmě, k tomu je vyžadována příslušná elektronika vysílače/přijímače, která musí

6.4. SYSTÉM DÁLKOVÉHO ŘÍZENÍ

být pro tento typ provozu uzpůsobena. Systémy s touto funkcionalitou bývají označovány jako „telemetrické“.

Takový obousměrný přenos umožňuje nejen vysílání signálu pro řízení platformy z vysílače do přijímače, ale i vysílání telemetrických dat z přijímače do vysílače. Charakter těchto dat je variabilní. Základním údajem bývá hodnota RSSI (Received Signal Strength Indicator), která udává kvalitu signálu. Další telemetrické parametry závisí na senzorech, které platforma obsahuje. Mezi tyto parametry mohou patřit napětí baterií, proudový odběr, rychlost pohybu, směr pohybu, GPS lokace, orientace v prostoru a mnoho dalšího.

Pro potřeby naší platformy je možnost získávání telemetrických dat velmi výhodná, proto je při výběru RC systému tento parametr důležitým požadavkem.

6.4.2. Přijímač

Jak bylo popsáno v předchozí kapitole, přijímač primárně zachytává elektromagnetický signál vysílaný vysílačem a zpracovává ho pro řízení dalších prvků. V našem případě jsou těmito prvky čtyři jednotky ESC. Standardně přijímače pro komunikaci s řízenými prvky (jako jsou ESC, servomotory) používají signál s PWM modulací. V některých specifických aplikacích mohou být použity i jiné typy signálů, jako je PPM nebo sériové linky, například SBUS (digitální sériová linka pro řízení serv, které tuto funkci podporují).

Jedním z hlavních parametrů pro přijímač je počet kanálů, které je schopen zpracovat. Například osmikanálový vysílač obsahuje osm PWM výstupů a může tedy nezávisle řídit osm různých prvků.

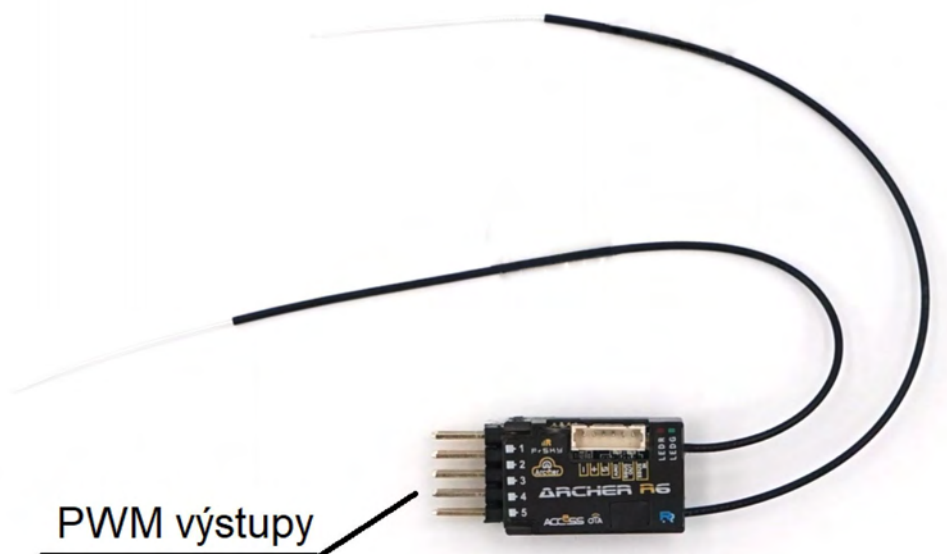
RC platforma, kterou se tato práce zabývá, obsahuje čtyři jednotky ESC, a přijímač musí tedy být minimálně čtyřkanálový. Jak bylo popsáno v předchozí kapitole, další požadavek je podpora přenosu telemetrických dat. Přijímač také musí operovat na frekvenci 2,4 GHz a jako výrobce jsme zvolili FrSky. Tento výrobce má v nabídce několik přijímačů, které splňují tyto parametry. Rozhodujícím faktorem je tedy cena. Nejlevnější přijímač, který splňuje tyto parametry, je **FrSky Archer R6** (viz obrázek 6.9) [44].

Pozn. V případě budoucí instalace systému autonomního řízení, jako je například Pixhawk nebo podobné systémy, je vhodné zvolit přijímač s PPM výstupem. Tyto systémy totiž tuto funkci vyžadují a odpadne tak potřeba PPM enkodéru. Vhodný přijímač je například FrSky Archer SR8 Pro.

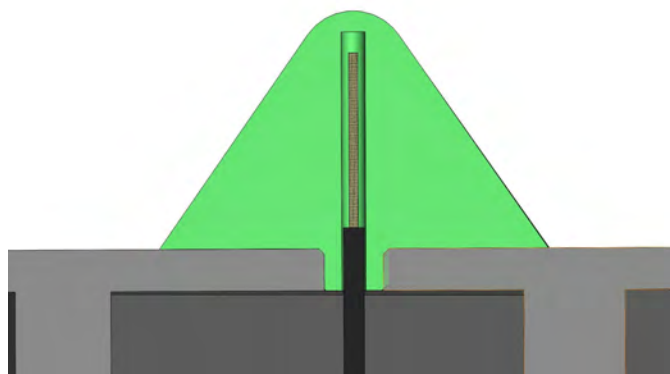
V základní konfiguraci je tento přijímač vybaven anténami o délce 150 mm, které jsou připojeny k desce přijímače pomocí konektoru IpeX4. Tyto antény je možné snadno vyměnit, což je výhodné, protože pro potřeby RC platformy bude třeba antény s minimální délkou 400 mm.

Přijímač je vybaven dvěma anténami za účelem zvýšení spolehlivosti přenosu signálu. Elektronika přijímače aktivně vyhodnocuje, která z antén přijímá signál s vyšší kvalitou, a tuto anténu pak používá jako primární zdroj signálu [46].

Kryt platformy, vyrobený ze slitiny hliníku, efektivně stíní signál vysílaný vysílačem. Je proto nutné antény vyvést mimo kryt platformy. Zároveň je důležité chránit antény před koly vozidla, aby nedošlo k jejich poškození v případě kolize. Antény jsou proto umístěny do plastových kuželů, které zajišťují, že jejich „odhalený konec“, který se podílí



Obrázek 6.9: Přijímač FrSky Archer R6 od výrobce FrSky [44]



Obrázek 6.10: Anténa přijímače v plastovém kuželu, vyrobeném pomocí 3D tisku.

na přijímání a vysílání signálu, je celou svou délkou nad platformou. Tyto kužely jsou na obrázcích 6.10 a 6.11 znázorněny zeleně.

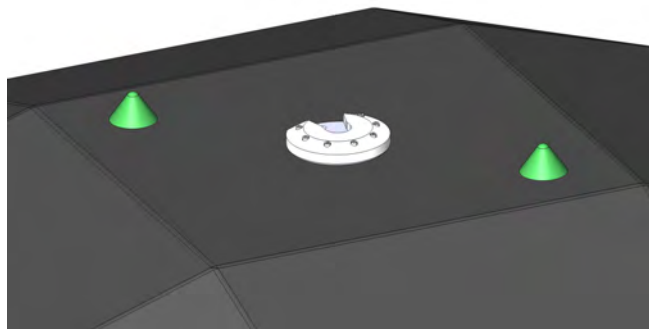
Pro systémy pracující na frekvenci 2,4 GHz je délka „odhaleného konce“ antény vždy 31 ± 1 mm [47]. Zbytek antény, opatřený koaxiálním krytím, slouží pouze jako vedení signálu. Při výměně antén za delší tedy není nutné upravovat rozměry plastových kuželů. Kužely jsou vhodné pro výrobu pomocí 3D tisku.

Dalším účelem kuželů je udržování antén ve vzpřímené poloze, což je v našem případě nejvýhodnější orientace. Toto je dáno principem šíření signálu v prostoru. Vsesměrové antény, jakými jsou i antény vybraného přijímače, šíří signál nejlépe ve směru kolmém na anténu.

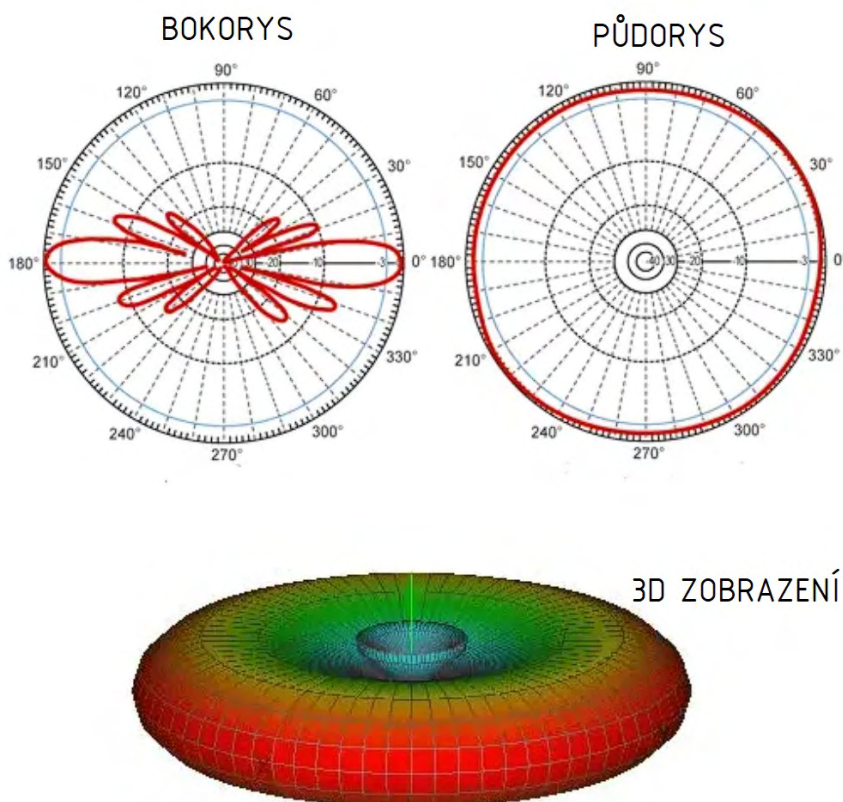
3D model šíření signálu ve vzduchu je vidět na obrázku 6.12. Jak je z modelu patrné, prostor, ve kterém se efektivně šíří signál, má tvar deformovaného anuloidu, přičemž jeho osa je tvořena vysílací anténou. Pro přijímač je nejvýhodnější, pokud je umístěn v uvnitř tohoto anuloidu a zároveň, pokud je jeho anténa rovnoběžně s anténou vysílače. V takovém případě dokáže přijímací anténa zachytit nejvíce signálu.

Firma FrSky uvádí minimální dosah přijímače FrSky Archer R6 2 km ve volném prostoru [44]. Ideální uspořádání je vidět například na obrázku 6.8.

6.4. SYSTÉM DÁLKOVÉHO ŘÍZENÍ



Obrázek 6.11: Antény přijímače schované v plastových kuželech.



Obrázek 6.12: Tvar šíření signálu ve vzduchu [48]

6.4.3. Vysílač

Vysílač, podobně jako přijímač, je vybrán od výrobce FrSky. Jeho požadované parametry jsou podobné jako u přijímače. Musí být schopen vysílat minimálně 4 kanály, podporovat přenos telemetrie a zobrazování telemetrických dat a musí operovat na frekvenci 2,4 GHz.

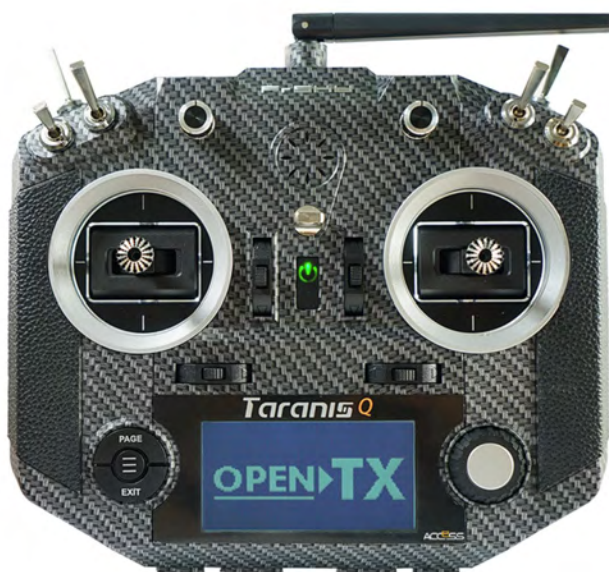
I když by se mohlo zdát, že by byl dostatečný dvoukanálový vysílač - jeden kanál pro polohu páky plynu a druhý kanál pro polohu páky zatačení - není tomu tak, jelikož jde pouze o vstupní signály pro vysílač. Vzhledem ke smykovému charakteru řízení platformy, kdy je nutné ovládat každý ze čtyř motorů nezávisle, vysílač tato dva vstupní kanály softwarově zpracuje a vyšle je přijímači jako čtyři kanály - pro každý motor, resp. ESC jeden.

6. VÝBĚR ELEKTRONICKÝCH A ELEKTRICKÝCH KOMPONENT

Všechny vysílače od výrobce FrSky splňují tyto nenáročné požadavky, dalším parametrem je pak cena vysílače. Nejlevnější vysílač od výrobce FrSky je Taranis Q X7, který splňuje požadované parametry a jeho cena je okolo 3600 Kč. Výrobce FrSky však nabízí i vylepšenou variantu tohoto vysílače s označením Taranis Q X7S (obrázek 6.13).

Tato vyšší verze nabízí namísto potenciometrů v pákách Hall-senzory, které se vyznačují přesnějším chodem a delší životností. Dále tato verze nabízí lepší přepínače a Bluetooth modul, který umožňuje zobrazování telemetrických dat v aplikaci mobilního telefonu nebo tabletu. To je podstatně přehlednější než omezený displej vysílače.

Z hlediska možného budoucího vývoje autonomního systému řízení je bezdrátový přenos telemetrických dat na jiné zařízení užitečnou výhodou. Z těchto důvodů byl pro tento projekt vybrán vylepšený vysílač **Taranis Q X7S** s cenou okolo 5000 Kč (ceny jsou uvedeny k datu května 2023) [44].



Obrázek 6.13: Vysílač Taranis Q X7S od výrobce FrSky [44]

6.5. Spínání akumulátorů

Jedním ze specifických problémů, který vyžaduje samostatné řešení, je připojení akumulátorů k ostatní elektronice. Systém pracuje s relativně vysokým maximálním stejnosměrným napětím baterií, konkrétně 51,6 V DC a baterie je schopna dodat proud v řádu stovek ampér. Tato baterie je navíc připojena ke čtyřem regulátorům otáček (ESC), které mají na svém vstupu kondenzátory s kapacitou 680 μ F.

Tyto kondenzátory spolu s kladným pólem baterie vytvářejí vysoký elektrický potenciál. Při zapojování baterií za použití standardního konektoru existuje riziko vzniku elektrického výboje (jiskry), což může vyvolat proudový ráz s potenciálním rizikem vážného poškození elektroniky ESC.

Aby se tomuto nebezpečí předešlo, je platforma vybavena systémem pro bezpečné spínání baterií. Tento systém se skládá ze stykače, jenž slouží k připojení baterie, step-down měniče, který zajišťuje napájení cívky stykače, a přepínače, který řídí přívod napětí do cívky stykače ze step-down měniče.

6.5. SPÍNÁNÍ AKUMULÁTORŮ

6.5.1. Stykač

Stykač je typ elektromagnetického spínače, který se používá pro ovládání elektrických obvodů. Je navržen tak, aby umožnil bezpečné ovládání vysokonapěťových nebo vysokoproudých obvodů pomocí nízkonapěťových a nízkoproudých signálů.

Funguje na základě elektromagnetické indukce. Když je do cívky stykače přiveden elektrický proud, vytvoří se kolem cívky magnetické pole. Toto magnetické pole pak přitahuje pohyblivý kontaktní most, což vede k uzavření (nebo otevření, v závislosti na konstrukci stykače) kontaktů stykače.

Kontakty stykače jsou připojeny k obvodu, který je ovládán. Když jsou kontakty uzavřeny, elektrický proud může procházet obvodem od baterie k ESC. Když jsou kontakty otevřeny, proud nemůže obvodem procházet [49].

Pro RC platformu, kterou se zabývá tato práce, byl vybrán stykač **ZJ100D** (viz obrázek 6.14). Výběr vhodných stykačů na trhu je omezený, avšak tento konkrétní model se jeví jako relativně nejlepší volba z hlediska parametrů, velikosti i ceny.



Obrázek 6.14: Stykač ZJ100D [50]

Vybrané parametry stykače ZJ100D [50]:

- Maximální trvalé napětí: $U_s = 80 \text{ VDC}$
- Maximální trvalý proud: $I_s = 100 \text{ A}$
- Napětí ovládací cívky: $U_{sc} = 24 \text{ VDC}$
- Proud ovládací cívky: $I_{sc} = 0,3 \text{ A}$
- Výkon ovládací cívky: $P_{sc} = 7,0 \text{ W}$

6.5.2. Step-down měnič

Step-down DC/DC měnič, také nazývaný buck měnič, je typ elektronického obvodu, který snižuje vstupní stejnosměrné napětí na nižší výstupní stejnosměrné napětí. Jedná se o spínaný zdroj napájení. V našem případě potřebujeme konvertovat napětí z baterií na vhodné napětí pro ovládací cívku stykače, kterou bude step-down měnič napájet (Step-down měnič slouží jako napájecí zdroj pro cívku stykače) [51].

Parametry měniče se odvozují z parametrů baterie a stykače. Měnič musí zvládnout vstupní napětí baterie o hodnotě 51,6 V. Na výstupu měniče potřebujeme mít napětí 24

6. VÝBĚR ELEKTRONICKÝCH A ELEKTRICKÝCH KOMPONENT

V a proud alespoň 0,3 A, což bude stačit pro napájení cívky stykače. Jako vhodný byl vybrán měnič **RSD-30L-3.3** od výrobce Mean Well, jehož parametry vyhovují našim potřebám.



Obrázek 6.15: DC/DC měnič RSD-30L-3.3 výrobce Mean Well [52]

Vybrané parametry měniče **RSD-30L-3.3** [52]:

- Rozsah vstupního napětí: $U_{zr} = 12 - 72$ VDC
- Výstupní napětí měniče: $U_z = 24$ VDC
- Maximální výstupní proud: $I_z = 2,5$ A

6.5.3. Přepínač

Přepínač, který je umístěn na kladném vodiči mezi step-down měničem a stykačem, má za úkol řídit přívod napětí na cívku stykače. Tímto způsobem ovládá spínání stykače a tedy i přívod napětí do celé platformy. V podstatě slouží jako hlavní vypínač platformy. Kritériem pro výběr přepínače je napájecí proud cívky stykače, který je 0,3 A.

Vybrán byl LED IP68 přepínač o průměru 19 mm (viz obrázek 6.16), dostupný v e-shopu DRATEK.cz [53]. Tento přepínač nejenže splňuje potřebné parametry, ale navíc je vybaven červeným LED podsvícením, které signalizuje stav „vypnuto/zapnuto“. LED podsvícení vyžaduje napětí do 24 V, a tak může být napájeno ze stejného step-down měniče jako cívka stykače.

Hlavní výhodou tohoto přepínače je jeho krytí IP68, což zaručuje jeho odolnost vůči vlhkosti a prachu. Díky tomu není nutné přepínač dále chránit před těmito vlivy.

6.5. SPÍNÁNÍ AKUMULÁTORŮ



Obrázek 6.16: LED IP68 přepínač 19 mm [53]

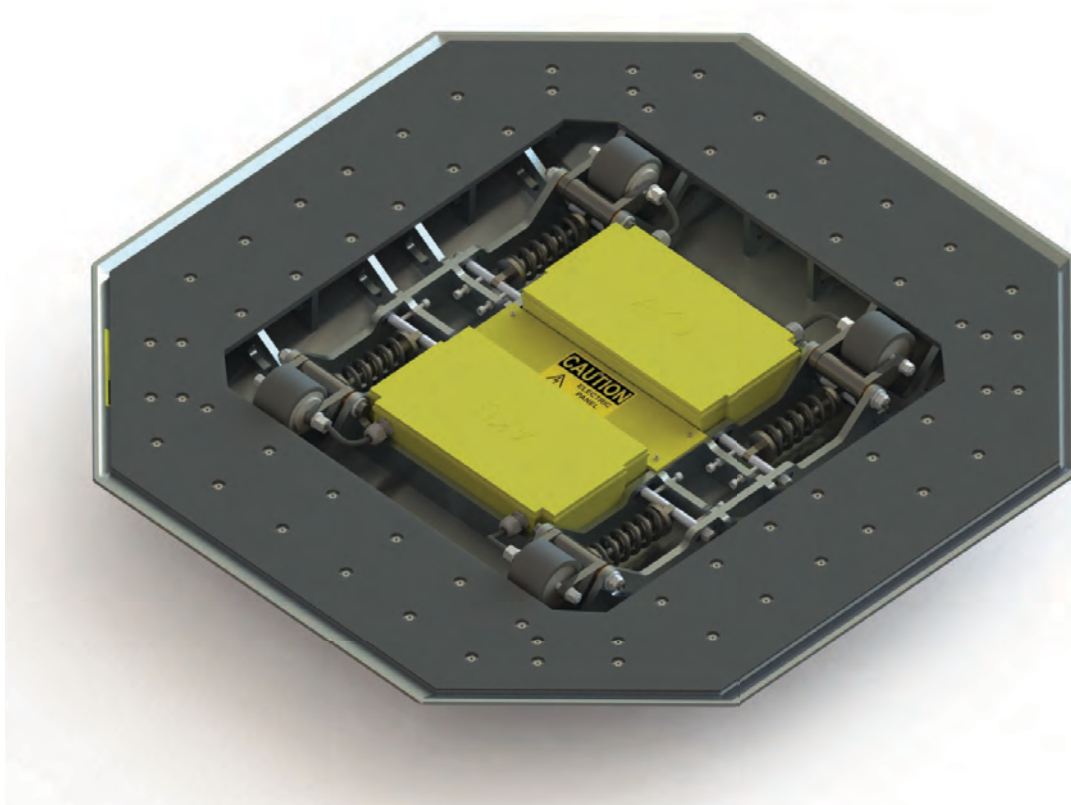
Vybrané parametry přepínače [53]:

- Spínaný proud: $I_p = 4 \text{ A}$
- Spínané napětí: $U_p = 240 \text{ V}$
- Napájení LED: $U_l = 12 - 24 \text{ V}$

7. Konstrukční řešení platformy

Následující kapitola se věnuje konstrukčnímu řešení vybraného konceptu platformy. Součástí konstrukčního řešení je začlenění vybraných elektrických a elektronických prvků. Zároveň je platforma navržena s přihlédnutím k pevnostním, hmotnostním a rozměrovým parametrům. Kapitola začíná popisem sestavy platformy, po němž následují detailní rozbor vybraných konstrukčních prvků, což doplňuje výkresovou dokumentaci.

7.1. Sestava platformy

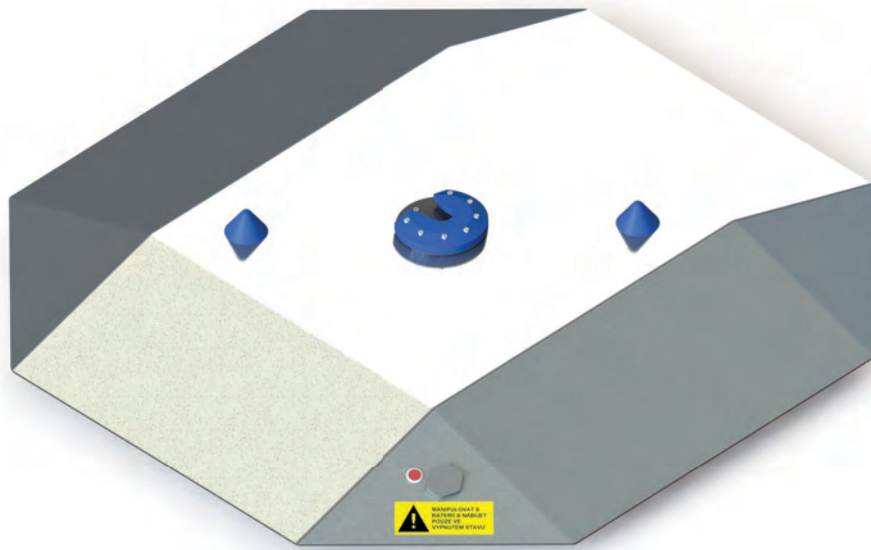


Obrázek 7.1: Pohled na platformu zespodu

Celkový design platformy je navržen s ohledem na provoz jak ve vnitřních, tak i venkovních prostorách. Veškeré citlivé části platformy jsou chráněny před vlivy počasí, což znamená, že platforma může fungovat i za situace, kdy během testu začne pršet. Je však důležité poznamenat, že konstantní provoz v dešti se nedoporučuje, i s ohledem na mechanické části platformy. Pohled na platformu zespodu je na obrázku 7.1, horní pohled je pak na obrázku 7.2.

Motory platformy jsou vybaveny stupněm ochrany IP65, což znamená, že jsou chráněny před prachem a stříkající vodou. Průchodky pro napájecí kabely motorů (viz kapitola 7.3) mají dokonce vyšší stupeň krytí IP68, což znamená, že jsou odolné vůči trvalému ponoření pod vodu.

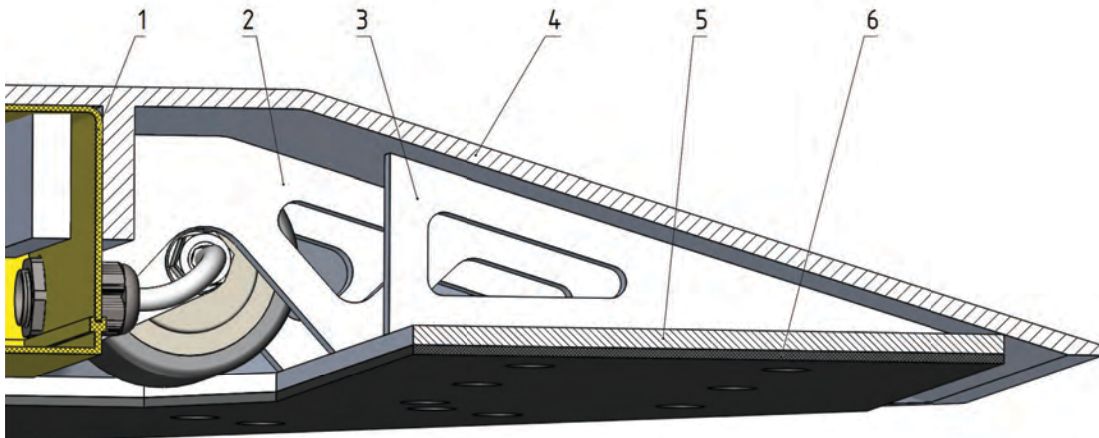
7.1. SESTAVA PLATFORMY



Obrázek 7.2: Horní pohled na platformu

Akumulátorový box je naší vlastní konstrukce. Podobně konstruované boxy dostupné na trhu obvykle disponují stupněm ochrany IP65, proto předpokládáme, že náš akumulátorový box bude mít podobný stupeň krytí.

Celkový odhadovaný stupeň krytí platformy je tedy **IP65**. Je třeba zdůraznit, že tato hodnota je pouze orientační a pro přesné stanovení stupně krytí je potřeba provést certifikované testy.



Obrázek 7.3: Řez platformou

Obrázek 7.3 představuje řez platformou s mírně nakloněným pohledem. V řezu lze vidět nosný kryt (4) a žebrování (2) a (3). Při přejetí vozidlem se zatížení přenáší na opěrnou lištu (5), jejímž úkolem je rovnoměrně rozložit plošné zatížení. Opěrná lišta je na spodní straně opatřena pryžovým obložěním (6) o tloušťce 3 mm. Pozice (1) odkazuje na akumulátorový box.

V oblasti nájezdových ramp platformy (šikmá část řezu na obrázku 7.3) je implementováno větší množství nájezdových žebor (3). Na druhou stranu, podélná a příčná žebra (2), která se táhnou přes celý rozměr platformy, jsou jen v počtu osmi. Všechna žebra jsou zobrazena na obrázku 7.8.

Velké množství nájezdových žebor na rampě zajišťuje efektivní přenos a rozložení sil od kola automobilu na vozovku, přes pryžové obložení. Kromě toho, rampa je vystavena většímu dynamickému namáhání, zvláště v důsledku potenciálně zlomového zakřivení trajektorie kola automobilu při přechodu z roviny na rampu.

Toto zakřivení trajektorie generuje setrvačné síly, které jsou přenášeny na nájezdové rampy platformy. Díky tomu rampy fungují jako jakýsi nárazník, což je nezbytné především při vyšších rychlostech, kdy tento efekt setrvačných sil roste. Tento design tedy zohledňuje dynamiku pohybu automobilu při přejezdu přes platformu a zajišťuje její stabilitu a odolnost i při vyšších rychlostech.

7.1.1. Pryžové obložení

Pryžové obložení (obrázek 7.3, pozice 6) má za úkol další rozložení plošného zatížení na povrch s nerovnou strukturou, jako je například asfalt, a zároveň zajišťuje dostatečné tření mezi platformou a vozovkou. Toto snižuje riziko posouvání platformy po vozovce v důsledku přejetí vozidlem. Taková situace způsobuje značné smykové namáhání zejména kol platformy a celkově neřízený pohyb (či odraz) platformy může být rizikový.

Během návrhu bylo rovněž zvažováno vybavit platformu „hroty“, které by se zařizly do asfaltu v případě přejetí. Nakonec však bylo upřednostněno pryžové obložení, jelikož je univerzálnější vzhledem k různým typům vozovek (litý beton, asfalt, zámková dlažba atd.) a je šetrnější k vozovce.

Jako obložení byla vybrána otěruvzdorná těsnicí pryž s označením **A590** od českého výrobce GUMEX. Tento výrobce nabízí pryž v různých tloušťkách; pro návrh byla zvolena tloušťka 3 mm. Výrobce rovněž nabízí službu vyřezání požadovaného tvaru na digitálním plotru a nanesení samolepicí vrstvy na pryžové výřezy. Tyto služby se jeví jako výhodné, jelikož pryž je podle návrhu k opěrné liště přilepena [56].

Vybrané parametry pryže A590 [56]:

- Tloušťka: 3 mm
- Tvrdost: 60° ShA
- Materiál SBR-NR
- Odolnost oděru: 120 mm³ (dle ČSN 62 1466)
- Pevnost v tahu: 15 MPa

7.2. Šachta elektroniky

Šachta pro elektroniku se nachází v centru platformy mezi akumulátory, jak je patrné na obrázku 7.1. Na šachtě je umístěna výstražná nálepka, která upozorňuje na přítomnost odhalených silových vodičů. Z bezpečnostních důvodů je šachta pro elektroniku navržena

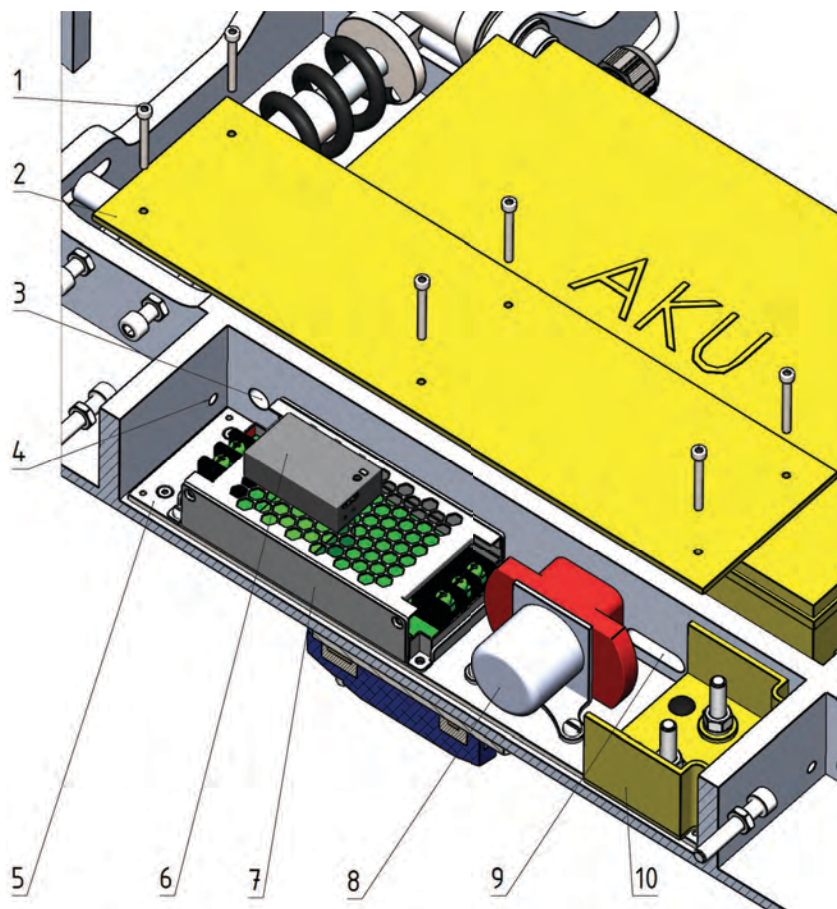
7.2. ŠACHTA ELEKTRONIKY

tak, aby byla oddělená od akumulátorových boxů. Díky tomu, pokud jsou akumulátorové boxy otevřeny, například při výměně baterie, nedojde k nebezpečnému kontaktu s odhalenými vodiči.

Obrázek 7.4 zobrazuje šachtu s otevřeným víkem, přičemž pohled je v řezu pro lepší přehlednost. Stěny šachty pro elektroniku tvoří žebra nosného krytu, zatímco dno je vyloženo ocelovým plechem (5), jehož funkce je popsána v kapitole 7.7.

Kryt šachty (2) je připevněn dlouhými šrouby M3 k plechu (5), přičemž šrouby procházejí celou šachtou. Jako alternativa se uvažovalo vyrobení závitových děr pro šrouby přímo do žeber které tvoří stěny šachty. Toto řešení by však vytvořilo vrub (závit) na exponovaném místě a oslabilo by tak žebro. Z tohoto důvodu byla zvolena varianta dlouhých šroubů uchycených do ocelového plechu.

Kryt šachty je vyroben metodou 3D tisku a jeho dosedací plocha je vybavena gumovým těsněním.



Obrázek 7.4: Komponenty v šachtě elektroniky

Design šachty je navržen s ohledem na potenciální riziko interferencí mezi výkonovou a řídicí elektronikou způsobených elektromagnetickými jevy. Šachta je tedy konceptuálně rozdělena na slaboproudou část (vlevo) a výkonovou část (vpravo). Slaboproudá část obsahuje step-down měnič (7) a přijímač (6), zatímco silnoproudá část obsahuje stykač (8) a svorkovnici (10).

Pozice (4) označuje průchod určený pro anténu přijímače a kabeláž ovládacího panelu (viz kap. 7.4). Po instalaci kabeláže bude tento otvor utěsněn silikonovým tmelem, aby byla zajištěna ochrana proti vniknutí prachu a vody. Pozice (3) je průchod do akumuláto-

rového boxu pro řídicí kabely k ESC, což jsou kabely PWM výstupů z přijímače. Pozice (9) ukazuje průchod do akumulátorového boxu pro kabel akumulátoru a napájecí kabely pro ESC. Pozice (10) se vztahuje na svorkovnici.

Podle datasheetu step-down měniče je jeho kostra propojena se záporným pólem baterie [52]. Tento fakt je využit k uzemnění kostry celé platformy, jelikož kostra měniče je vodivě spojena s rámem prostřednictvím ocelového plechu. Uzemnění je důležité pro bezpečnost jak při provozu, tak při údržbě platformy. Pomáhá předcházet elektrostatickým výbojům, které mohou poškodit elektronické součástky, a také snižuje riziko elektrického šoku v případě poruchy izolace.

7.3. Akumulátorový box

Podobně jako víko šachty elektroniky, je akumulátorový box vytvořen pomocí technologie 3D tisku z polymeru. Box ve stavu otevřeném je zobrazen na obrázku 7.5. Víko boxu (2) je připevněno k tělu (5) pomocí šroubů (1) a je vybaveno gumovým těsněním v drážce na dosedací straně, poskytující ochranu proti průniku vody a prachu.

Tělo boxu má otvor pro řídicí kabely ESC (4) a otvor pro napájecí kabely a kabel akumulátoru (6). Okolí těchto otvorů je vhodné utěsnit silikonovým tmelem při montáži, aby se zajistila dostatečná ochrana proti průniku vody a prachu. Box je k nosnému krytu připevněn šrouby umístěnými pod baterií. Kryt má navíc zaoblené hrany na spodní dosedací straně, což zajišťuje dostatek místa pro svary nosného krytu.

Pozice (7) odkazuje na elektronický regulátor rychlosti (ESC), který je umístěn co nejbližší k motorům, což je klíčové pro jeho správnou funkci. Kabely vedoucí od ESC k motorům procházejí vývodkou typu PG 11 (obrázek 7.6). Tato vývodka obsahuje matici a kleštiny s gumovým těsněním. Po dotažení matice se těsnění stáhne kolem kabelu, čímž se dosáhne odolnosti proti průniku vody a prachu. Výrobce vývodky udává stupeň krytí IP 68, což značí vysokou odolnost proti průniku prachu a vody [57].

7.4. Ovládací panel

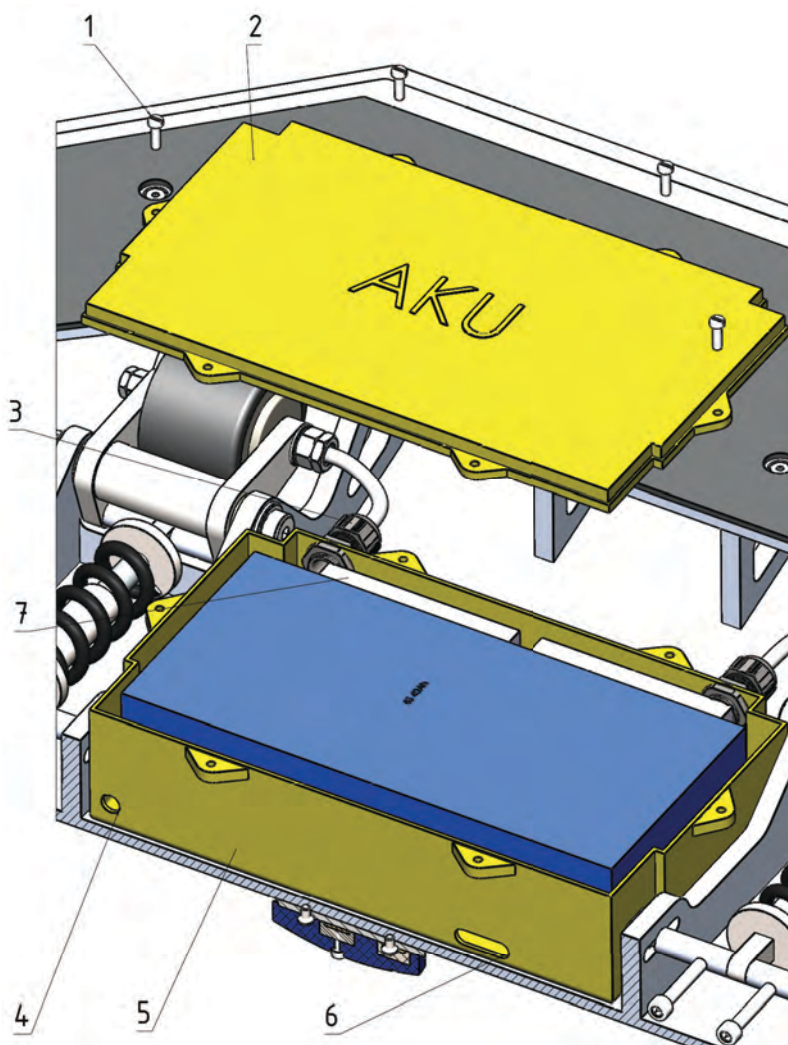
Platforma obsahuje jednoduchý ovládací panel, který je umístěn na sraženém rohu nosného krytu. Ovládací panel, znázorněný na obrázku 7.7, se skládá z přepínače, jehož funkce je detailně popsána v kapitole 6.5.3, a nabíjecí šachty určené pro dobíjení akumulátorů.

Akumulátorový box je navržen tak, aby umožňoval otevření a vyjmutí akumulátoru, který lze tedy nabíjet externě. Přístup k akumulátorům je však umístěn na spodní straně platformy, a pro jejich vyjmutí je nutné platformu nadzvednout. Vzhledem k hmotnosti platformy může být tento úkon náročný, a proto byla navržena nabíjecí šachta. Tato šachta obsahuje dva silové vodiče - plus a mínus akumulátorů (respektive plus jednoho akumulátoru a mínus druhého, jelikož jsou akumulátory zapojeny v sérii a lze je tak dobíjet společně).

Nabíjecí kabely jsou připojeny k konektoru typu **XT60E-F**, který umožňuje proudové zatížení až 60 A. To je více, než je kapacita většiny běžně dostupných nabíječek, a je proto dostačující. Sufix „F“ v označení konektoru značí „female“ (samičí) konektor, což odpovídá konvenci, že nabíječky jsou obvykle vybaveny „samčími“ konektory.

Stejným způsobem jsou do šachty vyvedeny dva balanční konektory **JST-XH** se šesti piny (pro každý článek akumulátoru jeden pin). Nabíjecí šachta je uzavřena ocelovým

7.4. OVLÁDACÍ PANEL



Obrázek 7.5: Rozložený akumulátorový box



Obrázek 7.6: Kabelová vývodka výrobce Onka [57]

ucpávkovým šroubem typu **HC-M-BS-M40** od firmy Phoenix Contact. Tento šroub obsahuje gumové těsnění pod hlavou, což zajišťuje hermetické uzavření nabíjecí šachty a zabraňuje proniknutí prachu a vody.

Pozn. I když lze akumulátory zapojené v sérii nabíjet společně, je nezbytné provádět současné balancování jejich článků. Toto je nutné kvůli rozdílnému vnitřnímu odporu článků, který může vést k rychlejšímu vybíjení některých z nich. Bez balancování by mohl být jeden z akumulátorů rychle poškozen.

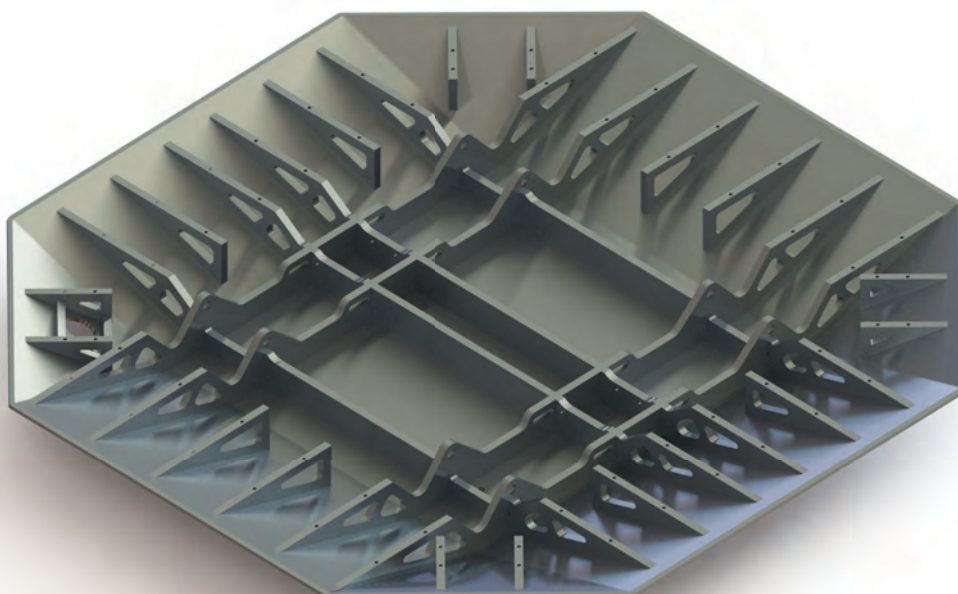


Obrázek 7.7: Ovládací panel platformy

7.5. Nosný kryt

Hlavním konstrukčním prvkem platformy je nosný kryt, který plní dvě hlavní funkce. Zaprvé slouží jako rám pro montáž všech komponent a zároveň přenáší veškeré zatížení při přejetí automobilem. Kryt je vyrobený svařováním a jeho krycí skořepina je složena z plechů o tloušťce 6 mm, které jsou vyztuženy vnitřním žebrováním o tloušťce 10 mm. Všechny svařované části jsou navrženy s ohledem na snadnou výrobu pomocí laserového vypalování z plechových polotovarů, což přináší úsporu nákladů a zjednodušuje výrobní proces.

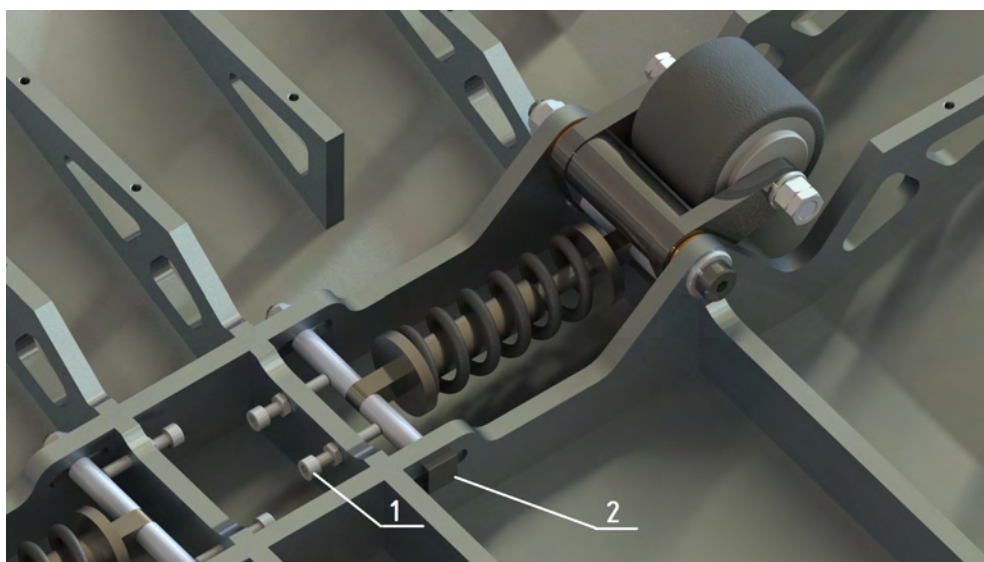
Pro materiál svařence byla zvolena slitina hliníku s označením **EN AW-6061-T6**, která kombinuje výborné mechanické vlastnosti s dobrou svařitelností. Použití hliníkové slitiny jako materiálu bylo zvoleno z důvodu snížení hmotnosti. Například ocelový nosný kryt by vážil 68 kg, zatímco kryt vyrobený ze slitiny hliníku váží pouze 23,5 kg.



Obrázek 7.8: Pohled na platformu zespodu

7.6. Systém odpružení

Systém odpružení má klíčovou roli při zajištění bezpečného a stabilního dosednutí platformy na vozovku, když je přejetá automobilem. Tento systém umožňuje, aby tíhovou sílu automobilu přenesla konstrukce platformy, nikoli její kola. Díky tomu jsou kola namáhána v normálovém směru pouze silou generovanou tlumiči. Rovněž tlumiče slouží k tlumení případného odskoku platformy po přejetí vozidlem při vyšší rychlosti. Při výběru tlumičů



Obrázek 7.9: Snímek systému odpružení
1 - stavěcí šroub 2 - radiální čep

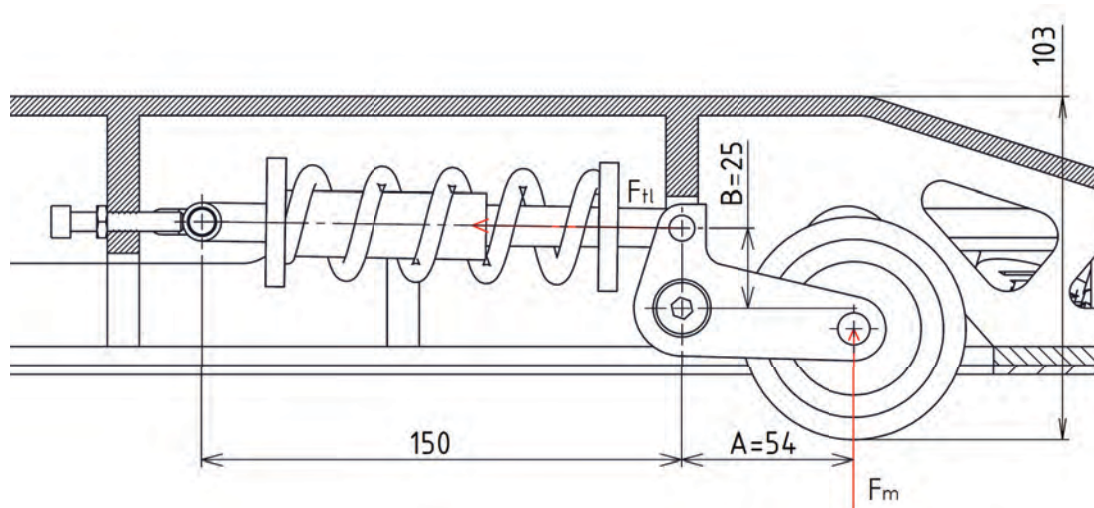
je klíčovým parametrem tuhost pružiny, což je síla potřebná ke stlačení tlumiče. Tato síla musí být dostatečně velká, aby podvozek bez problémů unesl hmotnost platformy i

7. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ PLATFORMY

s figurínou. Na druhou stranu, tuhost pružiny by měla být také dostatečně nízká, aby se tlumiče snadno stlačily při přejetí vozidlem a nedocházelo tak ke zbytečnému namáhání kol platformy.

Systém odpružení je dále vybaven stavěcími šrouby (viz pozice 1 na obrázcích 7.9 a 7.12). Tyto šrouby slouží pro nastavování světlé výšky platformy, která se může pohybovat v rozmezí **0-22 mm**. Stavěcí šrouby jsou také nezbytné v případě, kdy kola nejsou v jedné rovině - například kvůli zkroucení konstrukce při svařování nebo vlivem výrobních nepřesností. S pomocí stavěcích šroubů lze jemně nastavit polohu kola a tuto polohu následně fixovat dotažením radiálního čepu (viz pozice 2 na obrázku 7.9). Radiální čep je opatřen krátkým čtyřhranným dříkem, který zapadá do drážky čepu. Pro povolování a utahování čepu je tedy nutný přístup pouze k matici na opačném konci čepu. Toto řešení bylo zvoleno kvůli omezenému prostoru mezi hlavou čepu a akumulátorovým boxem, kde by manipulace s nástrčným klíčem byla komplikovaná.

Výpočet minimální tuhosti pružiny je odvozen z kinematické analýzy systému odpružení, kterou lze vidět na obrázku 7.10.



Obrázek 7.10: Kinematický rozbor tlumení kol

Tíhová síla F_m působící na jedno kolo je spočítána podle následujícího vzorce:

$$F_m = (m_p + m_f) \cdot g \cdot \frac{1}{4} \quad [\text{N}] \quad (7.1)$$

Síla působící na tlumič je vypočítána využitím principu momentové rovnováhy vůči čepu zavěšení:

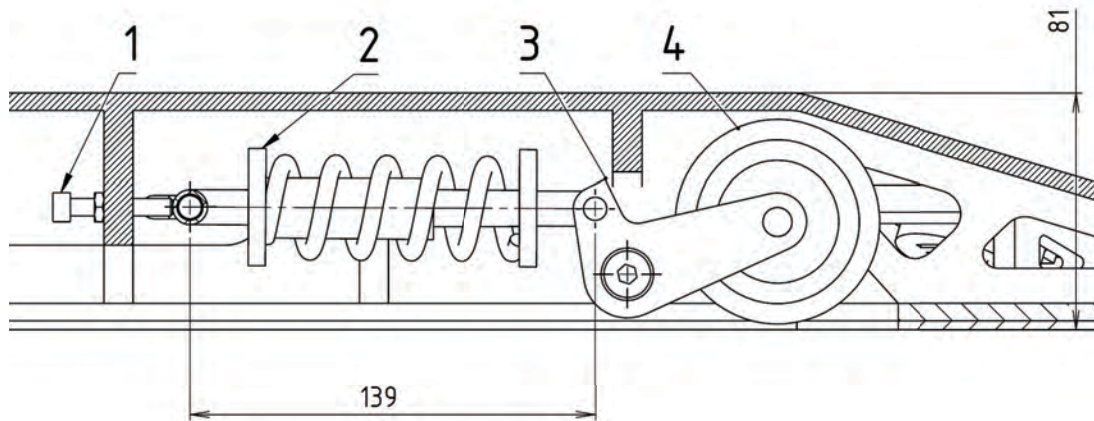
$$F_m \cdot A = F_{tl} \cdot B \quad (7.2)$$

$$F_{tl} = F_m \cdot \frac{A}{B} = 323,1 \text{ N} \quad (7.3)$$

Kde:

- $m_p = 50 \text{ kg}$ je hmotnost platformy
- $m_f = 11 \text{ kg}$ je hmotnost figuríny cyklisty (nejtěžší varianta figuríny)

7.6. SYSTÉM ODPRUŽENÍ



Obrázek 7.11: Kinematický rozbor tlumení kol - dosednutí
1 - stavěcí šroub, 2 - tlumič, 3 - rameno zavěšení, 4 - kolo

Dalším důležitým parametrem je potřebný zdvih tlumiče, což je rozdíl vzdálenosti tlumiče před a po dosednutí platformy na vozovku. Tuto hodnotu lze určit porovnáním obrázků 7.10 a 7.12. Nezbytný minimální zdvih tlumiče je tedy **11 mm**. Tuto hodnotu je vhodné volit s rezervou, aby se zabezpečil dostatečný rozsah pro nastavení stavěcích šroubů.

S ohledem na omezenou škálu vhodných tlumičů dostupných na trhu byl nakonec zvolen tlumič od výrobce **AttLvTu**, jehož rozteč montážních otvorů činí 150 mm. Tento tlumič má specifikovanou sílu stlačení na úrovni 100 Lbs, což odpovídá zhruba 45,4 kg, tedy přibližně 445 N.



Obrázek 7.12: Tlumič výrobce AttLvTu [54]

Vybrané parametry zvoleného tlumiče:

- Rozteč montážních ok: $L_{tl-real} = 150$ mm
- Síla potřebná pro stlačení: $F_{tl-real} = 445$ N
- Maximální zdvih tlumiče: $X_{tl-real} = 30$ mm

7.6.1. Ověření stlačení

Tuhost vybraného tlumiče je mírně vyšší než je pro naše účely nezbytné. Stlačení tlumičů pod tíhou automobilu je ověřeno výpočtem z rovnice (7.4), což je analogický postup k výpočtu minimální tuhosti tlumiče (viz rovnice 7.3). V tomto případě je k tíhové síle plynoucí z hmotnosti platformy a figuríny přidána síla odpovídající hmotnosti automobilu. Pro stlačení tlumičů je nezbytné, aby platilo $F_{au} > F_{tl-real}$.

Tato kapitola také funguje jako praktický návod pro ověření vhodnosti alternativních tlumičů v případě, že by bylo nutné zvolit jiné typy tlumičů nebo změnit pružiny při stavbě prototypu platformy. Na trhu je dostupný jen velmi omezený počet tlumičů schopných pracovat s relativně nízkým zatížením okolo 350 N, avšak je dostupných mnoho jiných tlumičů s roztečí otvorů 150 mm. V případě potřeby tak lze pružinu běžně dostupného tlumiče vyměnit za pružinu vybranou na základě výpočtů uvedených v této kapitole, popřípadě lze také změnit olej v tlumiči za jiný s vhodnou viskozitou.

$$F_{au} = (m_p + m_f + m_a) \cdot g \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{A}{B} = 3607,5 \text{ N} \quad (7.4)$$

$$F_{au} > F_{tl-real} \quad (7.5)$$

Kde:

- $m_a = 620$ kg je hmotnost připadající na jedno kolo přední nápravy automobilu Hyundai Tucson

Síla F_{au} , působící na platformu z automobilu, je přibližně osminásobně větší než síla $F_{tl-real}$ potřebná pro stlačení tlumiče. Tato poměrně vysoká hodnota zajišťuje hladké přitlačení platformy k vozovce při přejezdu vozidlem.

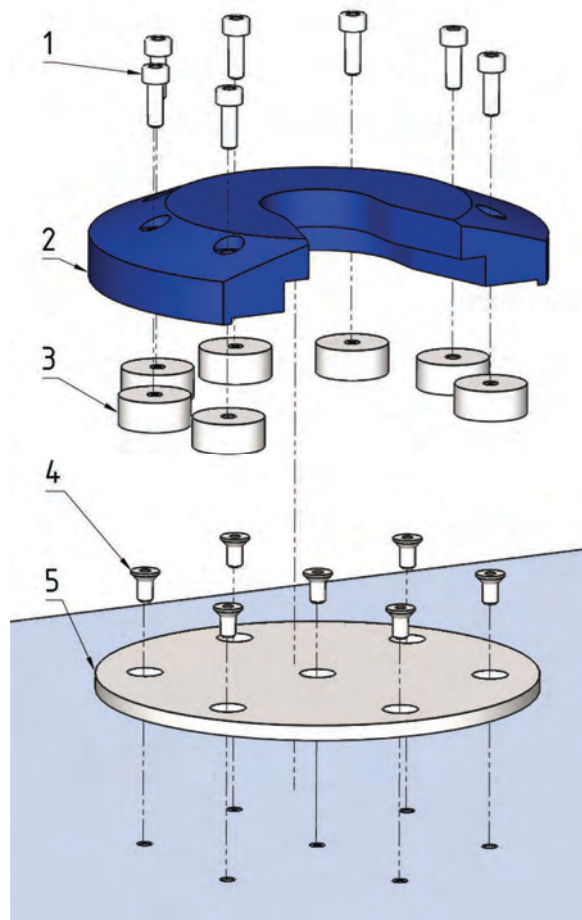
Hodnota m_a byla stanovena na 620 kg. Tato hodnota byla určena na základě specifikací vozů, které jsou testovány v zařízení, pro které je určena platforma - konkrétně se jedná o vozy **Hyundai i30**, **Tucson** a **Kona**. Z těchto tří modelů má nejvyšší hmotnost Hyundai Tucson, jehož maximální povolená hmotnost na přední nápravu je dle specifikace vozu 1240 kg. Vzhledem k tomu, že rozměry platformy jsou v jakémkoliv směru menší než rozchod kol výše uvedeného vozu, může na platformu v daný okamžik najet pouze jedno kolo. Proto pro výpočet používáme hodnotu maximálního zatížení připadajícího na jedno kolo přední nápravy, což je 620 kg [58].

7.7. Uchycení figuríny

V kapitole 7.7 je podrobně rozebrána volba optimálního koncepčního řešení pro systém uchycení figuríny. Obrázek 5.6 v této sekci zobrazuje tyč se specifickým osazením, které je navrženo tak, aby zapadlo do T-drážky krycího dílu.

Tato tyč je součástí figuríny a její výrobce bohužel nesděluje přesné rozměry tyče ani jejího osazení. Jelikož design figuríny již nepatří do rozsahu této práce, je pro stavbu prototypu platformy nezbytné získat vzorek figuríny včetně tyče a ověřit rozměry T-drážky.

Tato kapitola se zaměří na konstrukční návrh systému, který figurínu upevňuje k platformě prostřednictvím krycího dílu. Systém je navržen tak, aby využíval magnetů pro generování potřebné síly k udržení figuríny na požadované pozici.



Obrázek 7.13: Systém uchycení figuríny - rozložený pohled

Pro platformu byly vybrány neodymové magnety od prodejce SilneMagnety.cz, s katalogovým číslem **QL19X8-M4-N38**, které jsou znázorněné na obrázku 7.13 (pozice 3). Neodymové magnety jsou specifické svým složením, a to zejména přítomností prvků jako je neodym, železo a bór, konkrétní označení materiálu je: NdFeB – N38. Tyto magnety jsou navíc opatřeny antikorozií povrchovou úpravou [55].

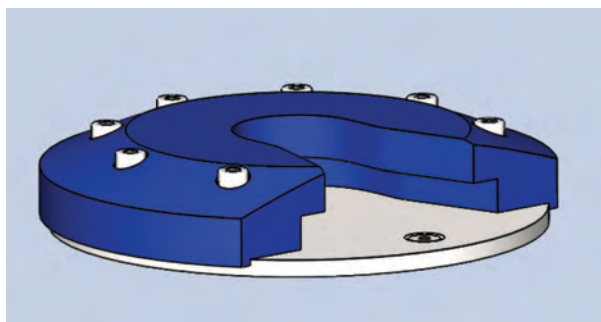
Magnety mají válcový tvar a jsou umístěny v ocelovém pouzdře, které odhaluje pouze jednu kruhovou plochu. Na opačné straně je ocelové pouzdro magnetu opatřeno vnitřním

7. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ PLATFORMY

závitem M4. Tyto magnety jsou uchyceny k plastovému tělu (2) pomocí šroubů (1). Toto tělo je vyrobeno technologií 3D tisku.

Vzhledem k tomu, že nosný kryt platformy je vyroben ze slitiny hliníku a tedy není feromagnetický, je nutné na horní stranu platformy osadit ocelovým dosedacím diskem (5). Tento disk je připevněn ocelovými šrouby (4). Aby bylo možné maximalizovat přitažlivou sílu magnetů, byla zvolena tloušťka plechu minimálně 1/2 výšky magnetu [55]. V našem případě mají použité magnety výšku 8 mm včetně ocelového pouzdra. Přesné rozměry pouzdra výrobce nspecifikuje, avšak lze předpokládat, že 4 mm tlustý plech bude dostačující.

Celkový součet sil všech sedmi magnetů dosahuje 840 N. Tato hodnota se zdá být optimální pro potřeby prototypu. Nicméně vzhledem k charakteru testů je složité přesně předpovědět chování systému uchycení v provozu. Proto byl systém navržen s ohledem na jednoduchou modifikovatelnost. Systém lze snadno upravit pro použití jiných magnetů - silnějších nebo slabších - pokud by testovací provoz prokázal, že současné magnety nejsou dostatečné. Na obrázku 7.14 je vyobrazena sestava systému uchycení ve složeném tvaru.



Obrázek 7.14: Systém uchycení figuríny - složený pohled

Parametry zvolených magnetů:

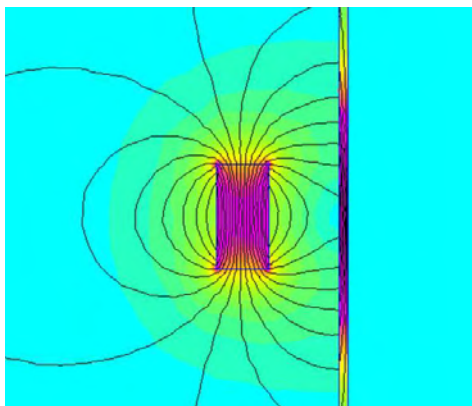
- Průměr: 19 mm
- Výška: 8 mm
- Závit: M4
- Síla (1): 120 N

Kromě maximalizace přitažlivé síly magnetu zajišťuje dostatečně silný dosedací disk také odstínění magnetického pole. Může se předpokládat, že pokud bude magnetické pole v daném směru plně využito formou přitažlivé síly, siločáry budou procházet primárně diskem a nebudou významně sahat za jeho hranici. Tento princip je ilustrován na obrázku 7.15. Tímto způsobem je sníženo riziko narušení funkce citlivé elektroniky uvnitř platformy vlivem magnetického pole.

Nicméně, i přes tento předpoklad je na místě příslušné opatření pro další ochranu vnitřní elektroniky. To zahrnuje implementaci další vrstvy ocelového plechu, který působí jako dodatečný štít proti magnetickému poli.

Jak je vidět na obrázku 7.16 na opačné straně krytu platformy je umístěn další ocelový plech (1) o síle 3 mm, mezi magnety (4) a elektronikou je tedy sendvičová struktura ocel - dural(2) - ocel(3). Tento koncept zajišťuje účinné odstínění magnetismu, což je klíčové

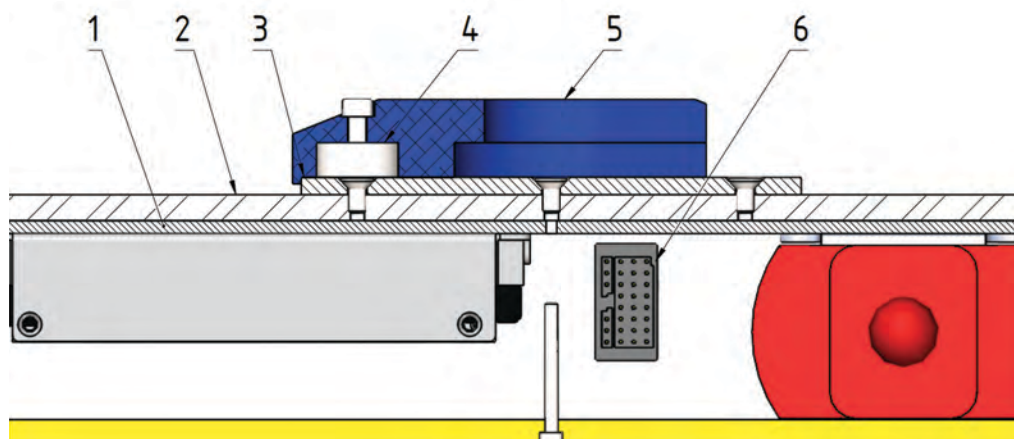
7.7. UCHYCENÍ FIGURÍNY



Obrázek 7.15: Znázornění odstínění magnetického pole ocelovou deskou [55]

pro správnou funkci zejména elektronického přijímače (6), který je vysoce náchylný na magnetické pole. Pozice (5) na obrázku pak odkazuje na plastové tělo držáku.

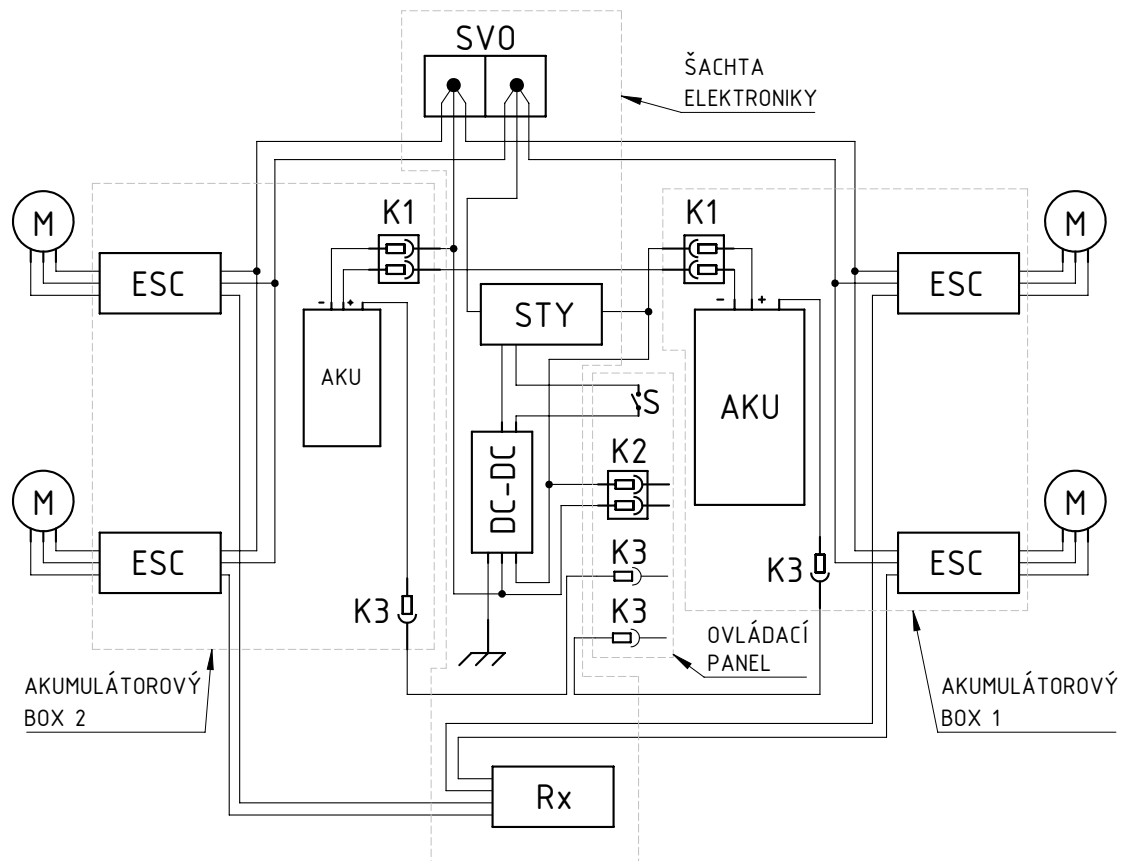
Kromě své roli odstínění magnetického pole má ocelový plech (2) také další funkci. Jsou do něj vyrobeny závitové díry pro uchycení elektroniky a dalších prvků. Tímto způsobem se minimalizuje potřeba dalších úprav nosného krytu, což by mohlo vést k jeho oslabení.



Obrázek 7.16: Řez platformou v místě šachty pro elektroniku

8. Elektrické zapojení

V této kapitole je prezentován popis zapojení elektronických a elektrických komponent implementovaných v platformě. Konkrétní komponenty, které byly popsány v kapitole 6, jsou zapojeny dle schématu zobrazeného v obrázku 8.1. Přerušovaná čára v tomto schématu vymezuje části platformy, jež byly detailně rozebrány v kapitole 7.



Obrázek 8.1: Blokové schéma zapojení elektronických a elektrických prvků platformy

Komponenty použité v blokovém schématu a kapitoly jim věnované:

M -	motor 6.1.2	Rx -	přijímač 6.4.2
ESC -	electronický regulátor otáček 6.2	S -	přepínac 6.5.3
AKU -	akumulátor 6.3	K1 -	konektor XT90 6.3
SVO -	svorkovnice 7.2	K2 -	konektor XT60E-F 7.4
DC-DC -	DC-DC step-down měnič 6.5.2	K3 -	konektor JST-XH 7.4

9. Analýza metodou konečných prvků

V této kapitole diplomové práce se zaměřujeme na pevnostní analýzu platformy za využití metody konečných prvků (MKP). Cílem je ověřit strukturální integritu nosného krytu platformy a identifikovat jeho maximální napětí a deformace. Pro analýzu byl využit software Ansys Workbench 2022, specificky jeho funkci Transient Structural simulace.

Při aplikaci Transient Structural simulace v Ansysu je využito výhod dynamické strukturální analýzy, ta umožňuje monitorovat vývoj napětí, deformací a dalších strukturálních parametrů v průběhu času. Tento typ simulace je ideální pro řešení situací, kdy se struktura v průběhu času mění pod vlivem dynamických sil.

Nicméně, je důležité podotknout, že simulace procesu přejetí kola automobilu přes platformu, včetně tvorby výpočtových modelů kol, je náročná. Z tohoto důvodu je tento proces zjednodušen rozdělením plochy platformy na jednotlivé segmenty. Tyto segmenty jsou postupně zatěžovány a odlehčovány silou tak, aby vzniklo namáhání podobné tomu, jaké by vytvořilo skutečné kolo automobilu přejíždějící přes platformu.

Zjednodušený přístup, který byl použit, nejenže nám umožnil efektivněji simulovat proces přejetí kola automobilu přes platformu, ale díky schopnostem Transient Structural simulace v řešení nelineárních materiálových, geometrických a kontaktních problémů bylo dosaženo kvalitních výsledků pevnostní analýzy bez značného zhoršení přesnosti.

9.1. Příprava modelu

Model platformy byl vytvořen v softwaru Solidworks 2019. Pro účely simulace byl vytvořen zjednodušený výpočtový model, který zahrnuje pouze dva klíčové díly platformy: nosný kryt a opěrnou lištu. Tyto díly byly vybrány pro analýzu, jelikož ostatní součásti platformy nejsou z hlediska pevnosti podstatné.

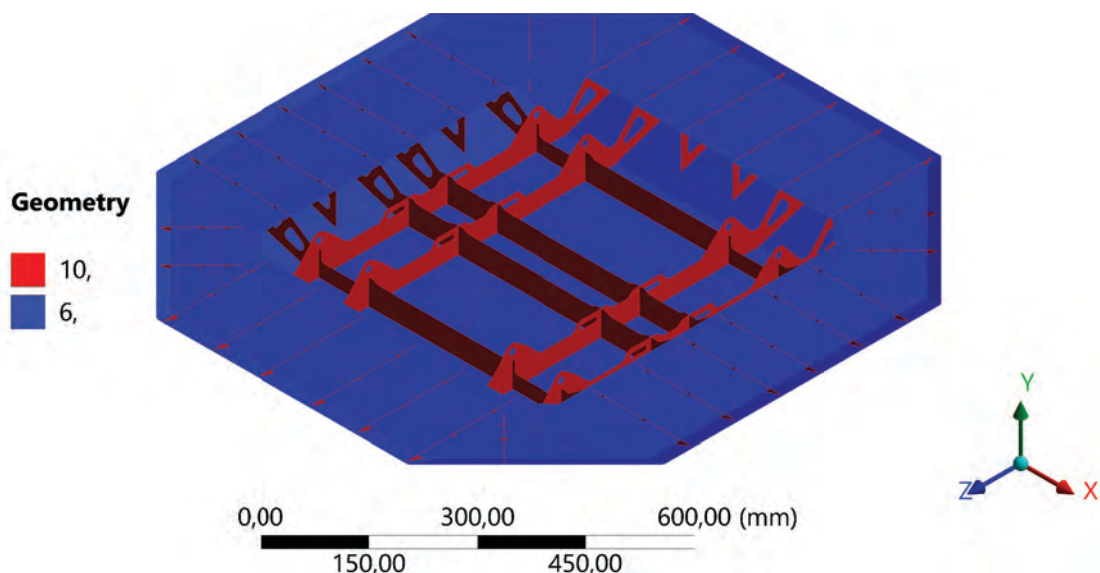
Výpočtový model byl zjednodušen na skořepinové tělo pro snížení náročnosti výpočtů. Tato metoda je vhodná vzhledem k tomu, že všechny díly, včetně svařovaných částí, jsou vyrobeny z plechu. Šrouby spojující opěrnou lištu a nosný kryt nebyly do simulace zahrnuty.

Převod modelu na skořepinové tělo byl proveden v prostředí Ansys SpaceClaim. Jednotlivé části svařence a opěrná lišta byly převedeny na plochy pomocí funkce Midsurface a následně upraveny pro vytvoření spojitě skořepiny. K zajištění pozdějšího napojení konečných prvků na sdílených uzlech jednotlivých ploch byla použita funkce Share Topology.

Každé ploše byla přiřazena odpovídající tloušťka podle CAD modelu a byl přiřazen materiál - slitina hliníku s označením EN AW-6061-T6. Skořepinový model platformy je zobrazen na obrázku 9.1.

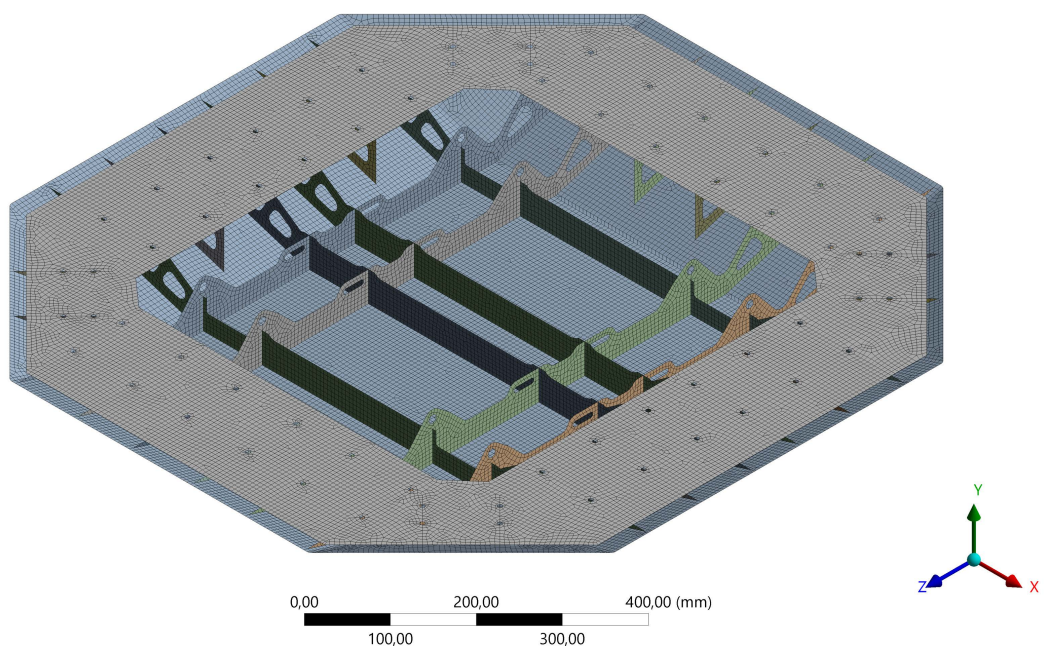
Vlastnosti slitiny hliníku EN AW-6061-T6 [59]:

- Mez kluzu v tahu: 255 MPa
- Mez pevnosti v tahu: 290 MPa
- Modul pružnosti: 68,9 GPa
- Zpracování: T6



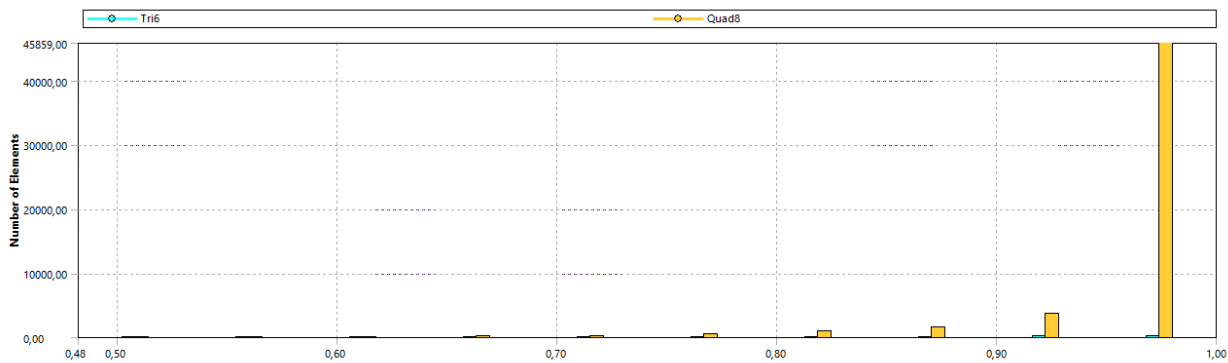
Obrázek 9.1: Skořepinový model, barva prvků indikuje tloušťku

Po dokončení modelu následuje vytvoření konečno-prvkové sítě, anglicky „mesh“. Tato síť je konstruována z osmi-uzlových (Quad8) a v některých situacích také šesti-uzlových prvků (Tri6). Standardní rozměr prvku sítě je nastaven na 6 mm, přičemž tento rozměr by neměl klesnout pod polovinu tloušťky stěny některého z dílů platformy. V klíčových lokalitách byla síť zjemněna s rozměrem prvku 2 mm, což zajišťuje vyšší přesnost simulace v těchto oblastech.



Obrázek 9.2: Konečno-prvková síť výpočtového modelu

9.2. OKRAJOVÉ PODMÍNKY



Obrázek 9.3: Distribuce a kvalita prvků Tri6 a Quad8 v simulaci

Parametry konečno-prvkové sítě:

- Celkový počet prvků: 53436
- Celkový počet uzlů: 161310
- Počet Tri3 prvků: 464
- Počet Quad4 prvků: 52972
- Průměrná kvalita prvků: 0,976

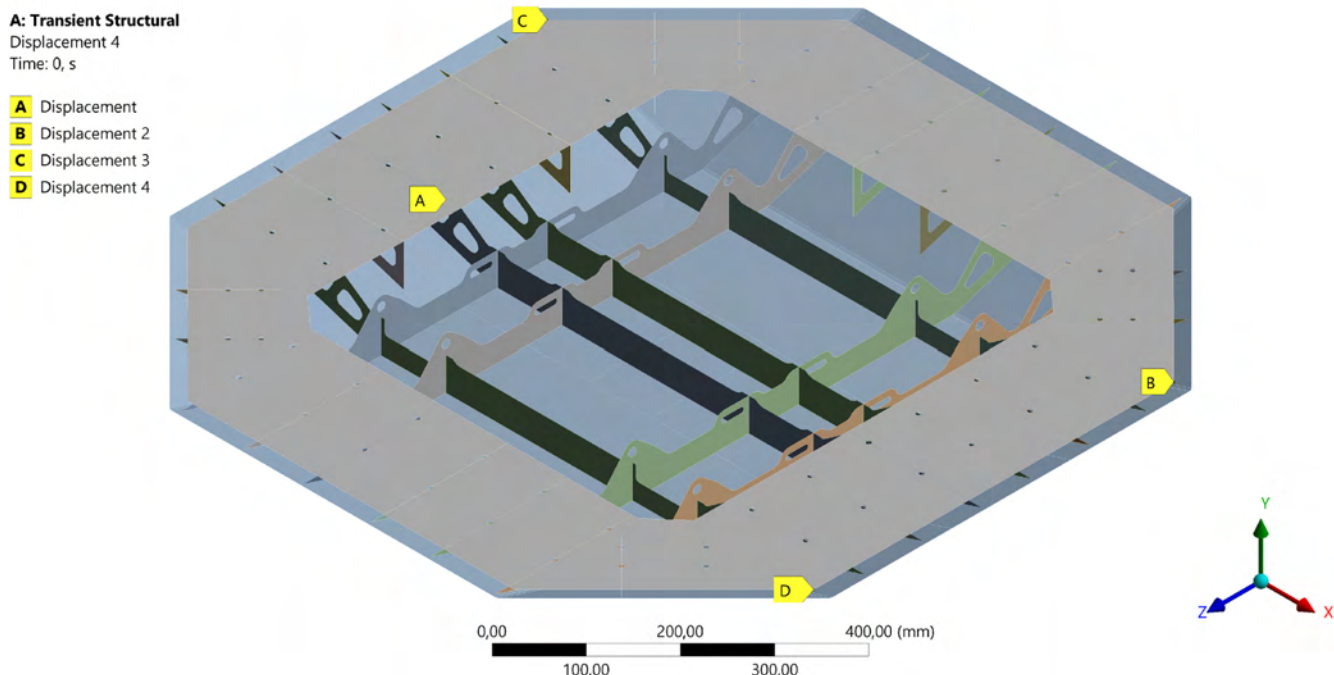
9.2. Okrajové podmínky

Na výpočtový model jsou následně aplikovány okrajové podmínky. Ty se skládají ze čtyř vazeb typu Displacement, jejichž umístění je znázorněno na obrázku 9.4. Vazba Displacement omezuje pohyb ve specifických osách – pokud je její hodnota nastavena na nulu, znamená to, že vybraná geometrie je v daném směru fixována.

Vazba A je aplikována na celou spodní plochu opěrné lišty, zatímco vazby B, C a D jsou umístěny na rohy této lišty. Specifické hodnoty nastavené pro jednotlivé vazby jsou uvedeny v tabulce 9.1. Tento systém vazeb dovoluje deformaci nosné lišty v osách X a Z v důsledku zatížení, což je realističtější, než pouhá aplikace vazby vetknutí na spodní stranu nosné lišty.

Vazba	X	Y	Z
A	free	0	free
B	0	free	0
C	free	free	0
D	0	free	free

Tabulka 9.1: Osové hodnoty pro vazby Displacement



Obrázek 9.4: Vazby Displacement

9.3. Zátěžové stavy

Tato část je primárně zaměřena na definici zátěžových stavů. Počátek tohoto procesu spočívá ve stanovení ploch, na které budou působit aplikované síly. V softwarovém prostředí Space Claim bylo na povrchu platformy vytvořili deset obdélníkových zátěžových ploch (viz obrázek 9.5). Rozměry jednotlivých ploch jsou ve směru Z definovány šířkou pneumatiky vozu, zatímco ve směru Y je rozměr poloviční. Tato specifikace je založena na parametrech pneumatiky vozu Hyundai Tucson, která má označení **225/55 R18 98H**, kde první trojčíslí označuje šířku pneumatiky v milimetrech.

Vzhledem ke geometrii platformy bylo nutné ve směru X provést mírnou korekci hodnot. Na nájezdové rampě má kratší strana obdélníku délku 115 mm, zatímco na horní ploše je tato délka 109 mm. Přestože došlo k této korekci, je nutné zdůraznit, že tato změna by neměla negativně ovlivnit správné vyhodnocení výsledků simulace.

Dalším krokem je definice zatížení. Jak již bylo uvedeno v kapitole 7.6.1, nejtěžší automobil, který bude testován s pomocí této platformy, je **Hyundai Tucson**. Tento model slouží jako základ pro určení parametrů zatížení.

Podle specifikace výrobce je povolené zatížení na přední nápravu $m_a = 1240$ kg. Silové zatížení vyvíjené jedním kolem v normálovém směru, tedy v ose Y lze spočítat pomocí rovnice 9.1 [58].

Rampy nájezdu na platformě jsou zkoseny tak, aby umožnily hladké přejetí vozidlem. Rampa tvoří imaginární pravoúhlý trojúhelník s výškou $C = 81$ mm a délkou $D = 273$ mm (viz obrázek 9.6, kde délka zahrnuje i virtuální vrchol, jak je zobrazeno na obrázku 9.6). V důsledku této konstrukce je generována i síla v tečném směru (tedy v ose X), jejíž hodnotu lze určit pomocí rovnice 9.2.

$$F_y = m_a \cdot g \cdot \frac{1}{2} = 6082 \text{ N} \quad (9.1)$$

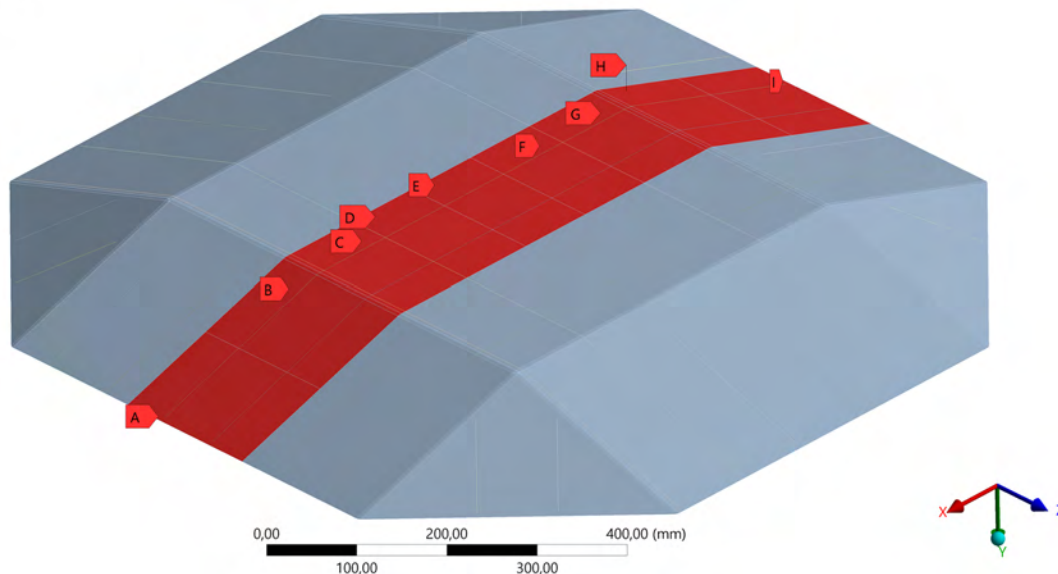
9.3. ZÁTĚŽOVÉ STAVY

B: Copy of Transient Structural

Force 9

Time: -5,3816e-003 s

- A Force 1: 0, N
- B Force 2: 0, N
- C Force 3: 0, N
- D Force 4: 0, N
- E Force 5: 0, N
- F Force 6: 0, N
- G Force 7: 0, N
- H Force 8: 0, N
- I Force 9: 0, N



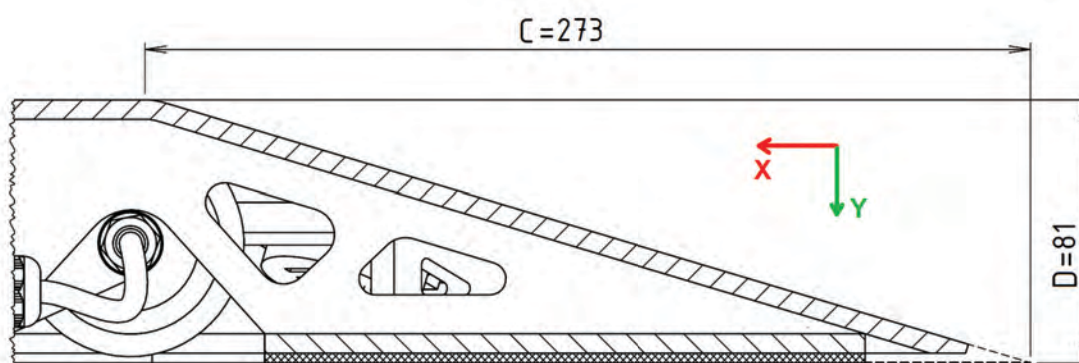
Obrázek 9.5: Vyobrazení ploch na něž působí zatěžující síly

$$F_x = F_y \cdot \frac{C}{D} = 1804 \text{ N} \quad (9.2)$$

Síly F_y a F_x reprezentují celkové zatížení v daném okamžiku, je tedy nezbytné je rozložit na jednotlivé zátěžové plochy. Každá z těchto ploch odpovídá polovině styčné plochy pneumatiky s povrchem platformy. Výpočet síly působící na jednu plochu v ose Y je popsán rovnicí 9.3, pro osu X je pak použita rovnice 9.4.

$$F_{y_{1/2}} = F_y \cdot \frac{1}{2} = 3041 \text{ N} \quad (9.3)$$

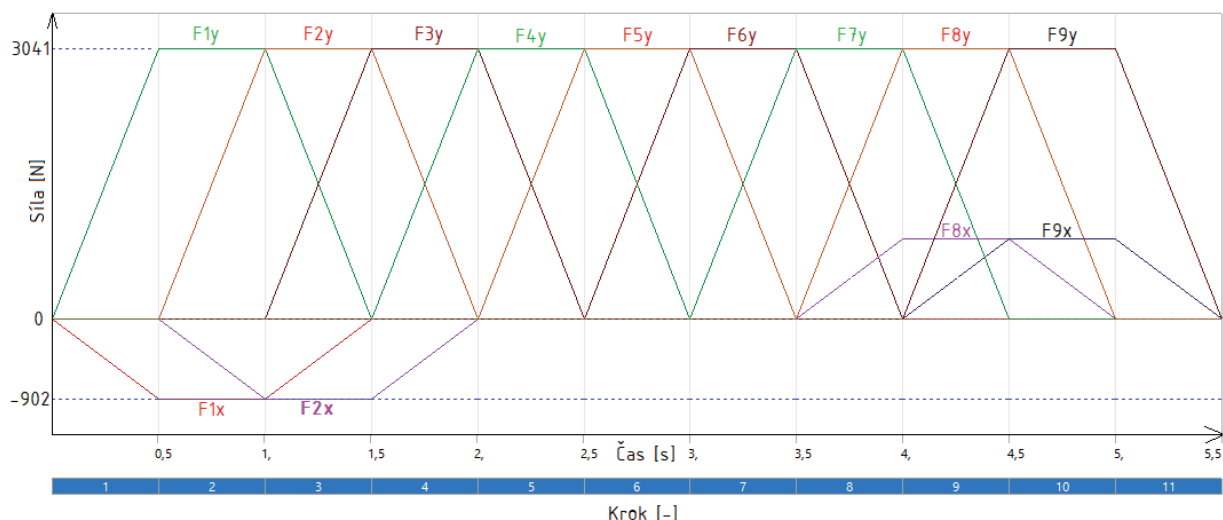
$$F_{x_{1/2}} = F_x \cdot \frac{1}{2} = 902 \text{ N} \quad (9.4)$$



Obrázek 9.6: Řez nájezdovou rampou platformy

Na každou jednu zátěžovou plochu bude v simulaci aplikována síla $F_{y_{1/2}}$. Na zátěžové plochy nájezdových ramp, tedy plochy A,B a H,I, bude navíc aplikována i síla v ose X, tedy $F_{x_{1/2}}$.

Zatížení jednotlivých zátěžových ploch je ilustrováno na obrázku 9.7. Transient Structural analýza je nastavena na 11 kroků (steps) po 0,5 sekundy, s tím, že každý krok je



Obrázek 9.7: Průběh zatěžujících sil v závislosti na čase

rozdělen na dalších 5 dílčích kroků (sub-steps), což slouží k zvýšení přesnosti získaných dat.

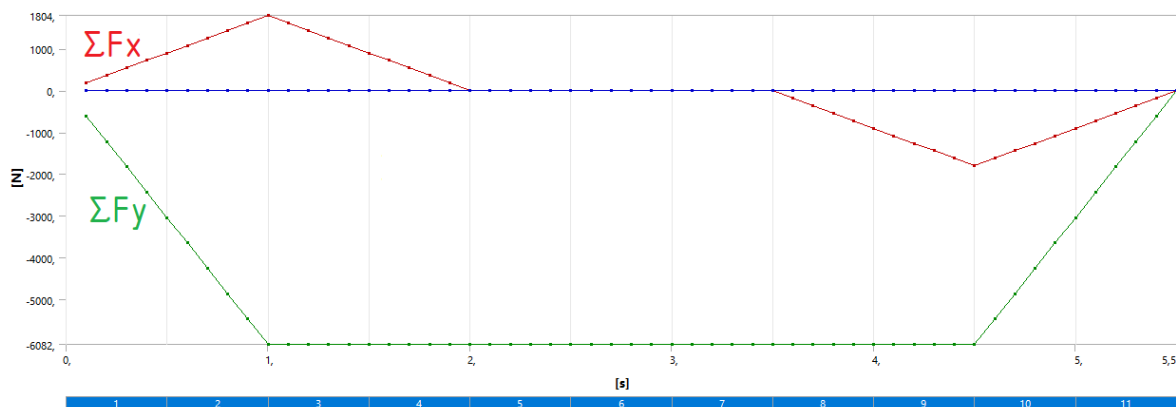
Načasování zatížení je uspořádáno tak, aby se jednotlivé zátěžové oblasti zatěžovaly postupně. Dvě sousedící plochy, například A a B, jsou plně zatíženy pouze v jednom okamžiku simulace. V následujícím kroku se plocha A začíná odlehčovat, zatímco plocha C začíná být zatěžována (plocha B je během tohoto procesu stále plně zatížena). Tento proces pokračuje, dokud není plocha A úplně nezatížena a plochy B a C jsou plně zatíženy. Tento proces se analogicky opakuje pro všechny zátěžové plochy na platformě.

Tento přístup zajišťuje, že v každém okamžiku simulace (s výjimkou kroků 1-2 a 10-11, kdy automobil „najíždí“ a „sjíždí“ z platformy) je součet sil v ose Y působících na platformu konstantní a dosahuje hodnoty 6082 N, obdobně pak pro tečné síly v ose X. Tento postup představuje situaci, která odpovídá kontinuálnímu přejíždění autem, kdy se zatížení plynule přesouvá po povrchu zatěžovaného dílu.

K potvrzení této hypotézy byl využit prvek Force Reaction, který byl umístěn na vazbu A. Tento prvek sleduje reakční sílu na dané vazbě. Průběh těchto sil je zobrazen na obrázku 9.8. Jak je z grafu patrné, velikost síly v ose Y je konstantní od 3. kroku až do 10. kroku.

Síly v ose X dosahují svých maximálních hodnot pouze dvakrát během simulace, a to v čase 1 sekunda a 4,5 sekundy. To je způsobeno délkou nájezdových ramp platformy, které jsou přibližně tak dlouhé jako styčná plocha pneumatiky. Z toho vyplývá, že plné zatížení v ose X je generováno pouze v jednom, resp. ve dvou okamžicích simulace. Maximální hodnoty sil odpovídají celkovému zatížení jednoho kola automobilu (viz rovnice 9.1 a 9.2). Z toho vyplývá, že nastavení simulace odpovídá reálným podmínkám.

9.4. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ



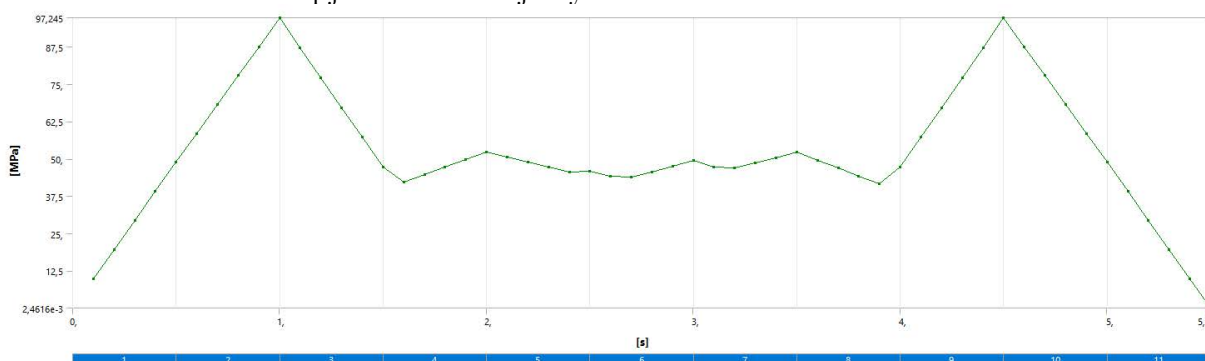
Obrázek 9.8: Průběh reakčních sil ve vazbě Displacement A

9.4. Vyhodnocení výsledků

Po dokončení přípravy modelu, nastavení simulace a definování okrajových podmínek byla provedena simulace pro maximální redukovanou napjatost podle teorie HMH v rámci definovaných zátěžových stavů. Z hlediska návrhu platformy je nejrelevantnější analýza maximální napjatosti a maximální deformace vybraných komponent.

9.4.1. Maximální napjatost

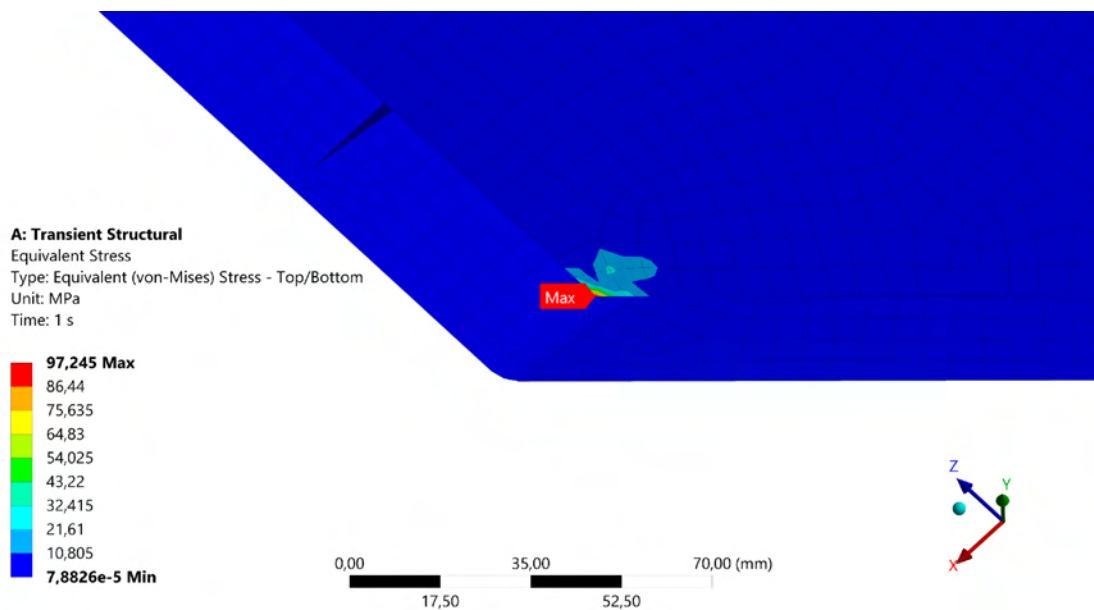
Průběh maximální napjatosti v čase je vyobrazen na obrázku 9.9.



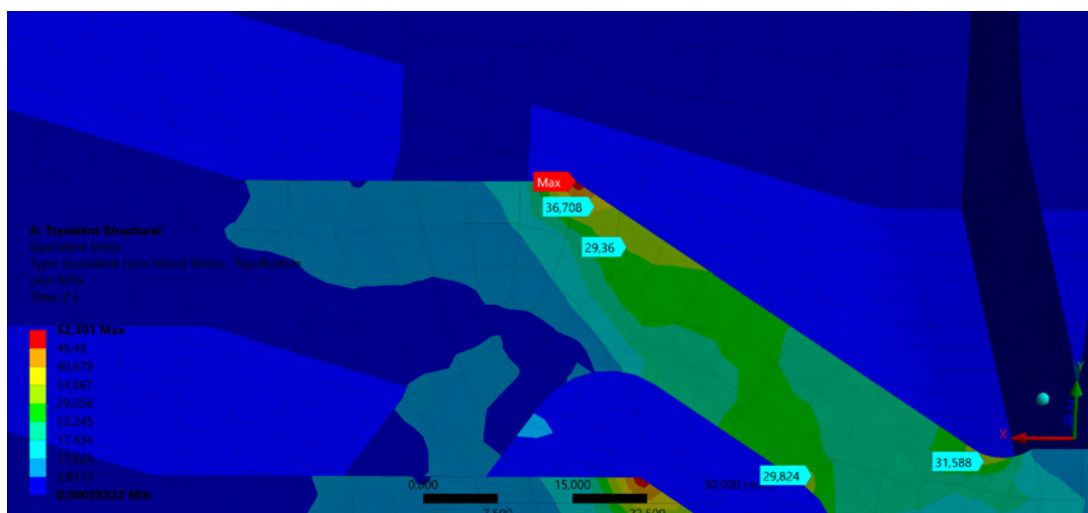
Obrázek 9.9: Průběh maximální napjatosti v čase

Na křivce lze identifikovat maxima v časech **1 s** a **4,5 s**. Tato maximální napětí jsou důsledkem zvoleného systému vazeb, kdy jsou vazby omezující posun v osách X a Z aplikovány na body, nikoli na plochy. V těchto bodech pak dochází k vzniku špičkového napětí, které by však v reálných podmínkách nenastalo. Proto tato špičková napětí nejsou považována za riziková. Bodové napětí je znázorněno na obrázku 9.10.

Další maximum napětí je podle grafu v čase **2 s**. Oblast, kde dochází k maximu napětí v tento okamžik, je detailně znázorněna na obrázku 9.11. K výskytu maximálního napětí dochází na žebro nosného krytu v místě kontaktu s opěrnou lištou, která byla pro lepší přehlednost z pohledu vyřazena. Na obrázku jsou také vidět napětí v okolních exponovaných oblastech. Napjatost zde dosahuje maximální hodnoty **52,3 MPa**, což je výrazně pod mezní hodnotou kluzu zvoleného materiálu a lze ji tedy označit za **akceptovatelnou**.



Obrázek 9.10: Špičková napjatost v bodě vazby Displacement B



Obrázek 9.11: Oblast maximální napjatosti na žebro nosného krytu v čase 2 s

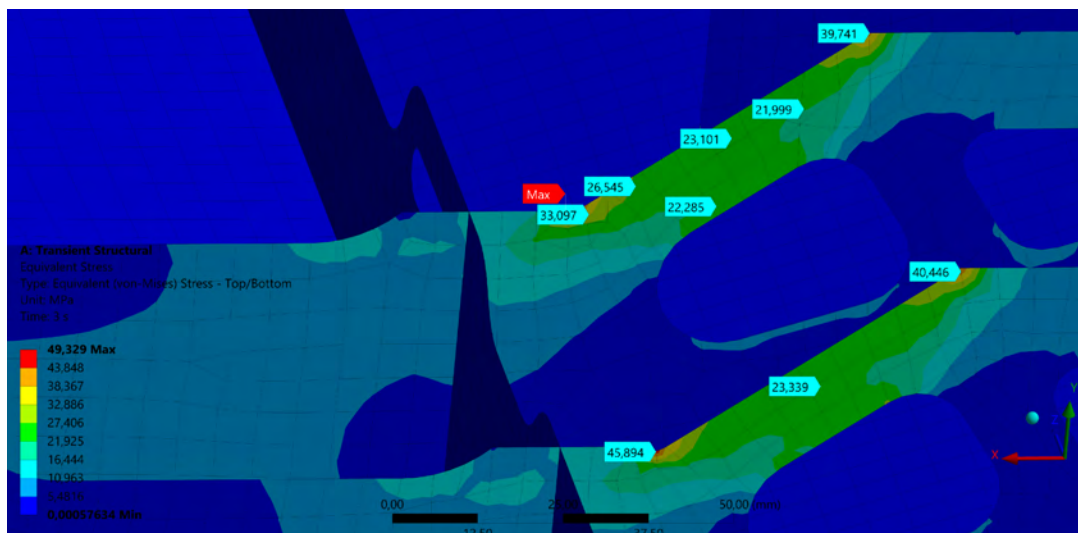
Třetí maximum napětí je podle křivky v čase **3 s**. Oblast, kde se v tomto časovém okamžiku vyskytuje významné namáhání, je znázorněna na obrázku 9.12. Maximální napjatost zde vzniká v místě, kde se žebro zužuje, a dosahuje hodnoty **49,33 MPa**. Tato hodnota je výrazně nižší než mez kluzu materiálu, který byl zvolen, a proto lze tuto napjatost označit za **akceptovatelnou**.

Další vrcholy napětí jsou v čase **3,5 s** a **4,5 s**. Toto jsou však oblasti, které jsou zrcadlově identické s již popsanými situacemi, což je způsobeno symetrií výpočtového modelu. Není proto nutné tyto zátěžové stavy rozebírat samostatně.

9.4.2. Maximální deformace

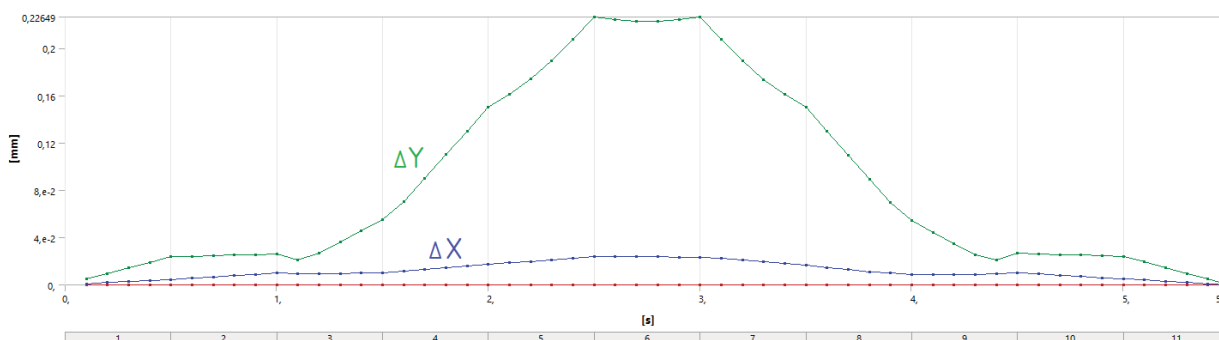
Dalším zkoumaným aspektem je deformace platformy. Tato deformace je z hlediska ochrany komponent umístěných na vnitřní straně nosného krytu velmi důležitá. Při velkých deformacích by mohlo dojít k deformaci těchto komponent nebo k jejich rizikovému přiblížení

9.4. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ



Obrázek 9.12: Oblast maximální napjatosti na žebro nosného krytu v čase 3 s

k vozovce. Mezi tyto rizikové komponenty patří například akumulátory, jejichž deformace je velmi riziková z pohledu bezpečnosti.



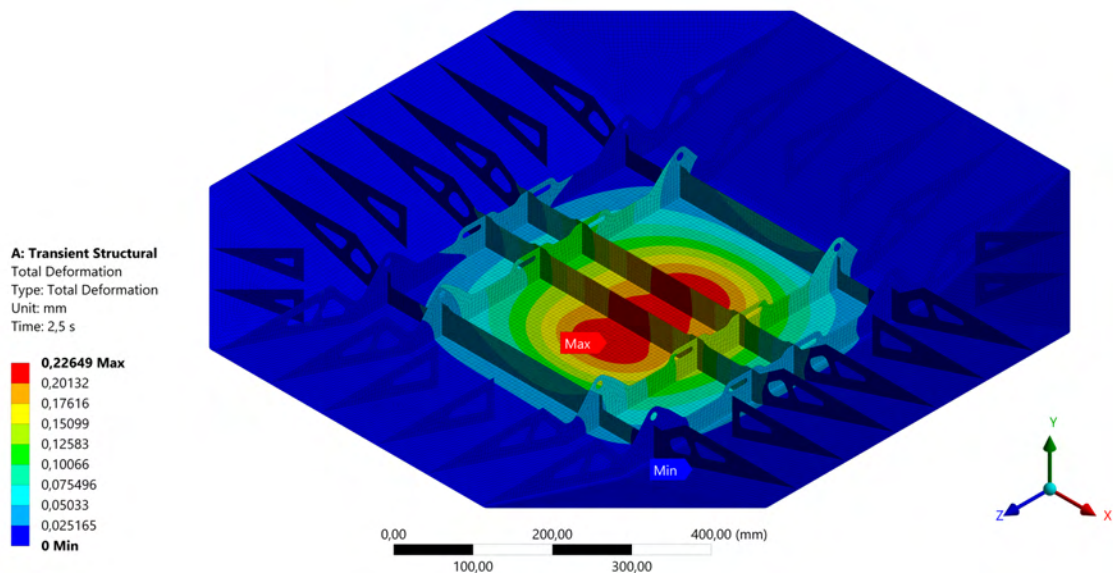
Obrázek 9.13: Průběh maximální deformace v závislosti na čase - osa X a Y

Průběh maximální deformace v závislosti na čase simulace je vyobrazen na obrázku 9.13, kde jsou zřetelně viditelné křivky deformace pro osy X a Y. Maximální velikost deformace je dosažena ve dvou okamžicích - v čase 2,5 s a 3 s. Díky symetrii výpočtového modelu jsou hodnoty deformace v těchto dvou časových okamžicích identické.

Obrázek 9.14 graficky znázorňuje deformaci nosného krytu v časovém okamžiku 2,5 s. Pro lepší přehlednost je z pohledu vyloučena opěrná lišta. Deformace v tomto bodě dosahuje maximální hodnoty **0,226 mm**, což je dostatečně malá hodnota, aby zajišťovala bezpečný provoz platformy. Proto lze deformaci označit za **vyhovující**.

Po posouzení všech zátěžných stavů z pohledu napjatosti i deformace lze konstrukci platformy vyhodnotit jako **vyhovující**.

9. ANALÝZA METODOU KONEČNÝCH PRVKŮ



Obrázek 9.14: Grafické znázornění deformace výpočtového modelu v čase 2,5 s

10. Závěr

Dálkově řízená platforma, jejíž návrhem se zabývá tato diplomová práce bude sloužit pro testování pokročilých asistenčních systémů řidiče v rámci vývojových testů společnosti Hyundai Motor Manufacturing Czech s.r.o. Klíčovým přínosem platformy je umožnění autentické simulace kritických situací v silniční dopravě a evaluace funkčnosti nových asistenčních systémů, což představuje klíčovou složku pro zvyšování bezpečnosti provozu, zejména pro ochranu chodců a cyklistů.

Před samotným návrhem platformy bylo potřeba provést podrobnou rešerši v oblasti relevantních asistenčních systémů a nastínit metodiku jejich testování. Následný detailní rozbor testů dle organizace Euro NCAP je zásadní pro charakterizaci úkolu, který má platforma plnit, a určuje základní parametry pro její design, jako jsou rychlost, zrychlení a manévrovatelnost. Díky těmto parametrům bylo možné analyzovat různé možnosti manipulace s figurínou a odůvodnit konečnou volbu konceptu samohybné platformy řízené rádiem.

Po stanovení konceptu mohl následovat detailní rozbor hlavních konstrukčních uzlů platformy, což umožnilo vybrat optimální řešení pro konkrétní účely. Tento rozbor poskytl základ pro další krok v procesu návrhu, a tím je výběr elektrických a elektronických komponentů platformy. Proces výběru těchto komponent byl organizován chronologicky, s výběrem motorů jako prvním krokem a následným výběrem dalších komponentů na základě vybraných motorů.

Finální konstrukční návrh platformy, je silně ovlivněn výběrem elektrických a elektronických komponent. Hlavní konstrukční díl platformy, nosný kryt, je vyztužen žebry, mezi které jsou vestavěny všechny komponenty. Díky tomu je dosaženo optimální velikosti platformy při zachování dostatečné pevnosti. Platforma musí odolat přejetí nejtěžším vozidlem, které společnost Hyundai Motor Manufacturing Czech s.r.o. vyrábí, a to je Hyundai Tucson.

Výpočetní ověření pevnosti platformy provedené v programu Ansys Workbench 2022 ukázalo maximální napjatost 52,3 MPa. Tato hodnota je relativně nízká a mohla by vést k přehodnocení designu platformy. Nicméně v simulaci je zanedbán vliv setrvačných sil automobilu, proto je vhodnější zachovat předdimenzovanou konstrukci, minimálně pro potřeby prototypu.

Platforma poskytuje významnou přidanou hodnotu svou připraveností pro budoucí vývoj. Vybrané elektronické komponenty jsou koncipovány tak, aby umožňovaly snadnou implementaci prvků autonomního řízení, jako je autopilot nebo systém „sledování čáry“. Tento přístup je podpořen výběrem komponent s „open-source“ charakterem. Jako atraktivní možnost pro budoucí vývoj se jeví implementace autonomního řízení pomocí systému typu Pixhawk [60] se softwarem ArduPilot [61]. Tento mikropočítač pracuje se širokým spektrem senzorů včetně akcelerometru, gyroskopu, kompasu a GPS přijímače. Díky přednastavenému firmwaru dokáže autonomně řídit platformu s kontrolou klíčových parametrů, jako je dráha, rychlost, zrychlení atd. Navíc umožňuje sběr telemetrických dat a jejich odesílání do kontrolního laptopu.

Nejen elektronická, ale i mechanická část platformy je konstruována s ohledem na možnost modifikace. V souladu s cíli této diplomové práce je platforma navržena pro pohyb s figurínou chodce nebo cyklisty. Avšak pohonné ústrojí platformy lze v budoucím vývoji relativně snadno adaptovat pro testy typu car-to-car nebo car-to-motorcycle. To znamená pro situace, kdy platforma bude nosit model motocyklu nebo automobilu.

Literatura

- [1] Number of registered passenger cars in Europe (EU-28) from 1990 to 2017, 2020. *Statista* [online]. [cit. 2023-01-09]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/452447/europe-eu-28-number-of-registered-passenger-cars/>
- [2] Mobility and Transport - Road Safety: Annual statistical report on road safety in the EU, 2022. *European Commission* [online]. Brussels [cit. 2023-01-09]. Dostupné z: https://road-safety.transport.ec.europa.eu/statistics-and-analysis/data-and-analysis/annual-statistical-report_en
- [3] WINNER, Hermann, Stephan HAKULI, Felix LOTZ a Christina SINGER, ed., 2016. *Handbook of Driver Assistance Systems: Basic Information, Components and Systems for Active Safety and Comfort*. 1. Switzerland: Springer International Publishing. ISBN 978-3-319-12351-6.
- [4] Singh, S. (2015, February). *Critical reasons for crashes investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey*. (*Traffic Safety Facts Crash • Stats*. Report No. DOT HS 812 115). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.
- [5] SYNOPSISYS. (2023). Retrieved January 11, 2023, from <https://www.synopsys.com/>
- [6] Yi, Q., Chien, S., Good, D., Chen, Y. et al., "Development of a Lighting System for Pedestrian Pre-Collision System Testing under Dark Conditions," SAE Technical Paper 2014-01-0819, 2014. Dostupné z: <https://doi.org/10.4271/2014-01-0819>.
- [7] Behera, R., Gangadharan, J., Kutty, K., Nair, S. et al., "A Novel Method for Day Time Pedestrian Detection," *SAE Int. J. Passeng. Cars – Electron. Electr. Syst.* 8(2):2015, doi:10.4271/2015-01-0319.
- [8] Gavrila, D.M., Munder, S. *Multi-cue Pedestrian Detection and Tracking from a Moving Vehicle*. *Int J Comput Vision* 73, 41–59 (2007). Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11263-006-9038-7>
- [9] ISO (2011), 'Road vehicles – Functional safety' (ISO 26262) , ISO, Geneva, Switzerland .
- [10] *Three Ways of ADAS Testing in Autonomous Cars*. (2002). Intellias: Global Technology Partner. Retrieved January 15, 2023, from <https://intellias.com/three-ways-of-testing-adas-in-autonomous-cars-beyond-a-test-drive/>
- [11] Regulation No 13-H of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) — Uniform provisions concerning the approval of passenger cars with regard to braking [2015/2364] (OJ L 335 22.12.2015, p. 1, ELI: <http://data.europa.eu/eli/reg/2015/2364/oj>)
- [12] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/2144 ze dne 27. listopadu 2019, Document 32019R2144, (Text s významem pro EHP) ELI:<http://data.europa.eu/eli/reg/2019/2144/oj>

LITERATURA

- [13] Morello, L., Rosti Rossini, L., Pia, G., Tonoli, A. (2011). *The Automotive Body: Volume II: System Design* (1st ed.). Springer Dordrecht.
- [14] *UNECE: World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations (WP.29)* Retrieved January 15, 2023, from <https://unece.org/transport/vehicle-regulations/world-forum-harmonization-vehicle-regulations-wp29>
- [15] *EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP): TEST PROTOCOL AEB /LSS VRU*, 2022. 4.3. Leuven BELGIUM: Euro NCAP.
- [16] Larsen, Pernille (2011-05-25). "Euro NCAP's standard set for upcoming electric and range-extender cars". [fiabrussels.com](http://www.fiabrussels.com). Brussels: Fédération Internationale de l'Automobile. Archived from the original on 2012-04-25. Retrieved 2011-11-02. https://web.archive.org/web/20120425132146/http://www.fiabrussels.com/en/fia_european_bureau/news/euro_ncaps_standard_set_for_upcoming_electric_and_range-extender_cars.htm
- [17] S. Heuel and H. Rohling, "Pedestrian classification in automotive radar systems," *2012 13th International Radar Symposium*, Warsaw, Poland, 2012, pp. 39-44, doi: 10.1109/IRS.2012.6233285.
- [18] AEBS-02-05 (OICA) Current systems and protocols: AEB IWG 02. In: FONTAINE, Olivier. *World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations (WP.29)* [online]. UNECE Wiki, 2017 [cit. 2023-01-23]. Dostupné z: <https://wiki.unece.org/download/attachments/54428572/AEBS-02-05%20%28OICA%29%20Current%20systems%20and%20protocols.pdf?api=v2>
- [19] What is Evasive Steering Assistance?. *J.D. POWER* [online]. [cit. 2023-01-23]. Dostupné z: <https://www.jdpower.com/cars/shopping-guides/what-is-evasive-steering-assistance>
- [20] Autonomous Emergency Steering System. NISSAN MOTOR CORPORATION [online]. Japan: Nissan Motor Co. [cit. 2023-01-23]. Dostupné z: https://www.nissan-global.com/EN/INNOVATION/TECHNOLOGY/ARCHIVE/AUTONOMOUS_EMERGENCY_STEERING_SYSTEM/
- [21] INSIDEEVs: "Autonomous Emergency Steering System" Shown On Nissan LEAF. INSIDEEVs [online]. [cit. 2023-01-23]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/316884/autonomous-emergency-steering-system-shown-on-nissan-leaf-must-see-video/>
- [22] Albrecht, H., Barickman, F., & Schnelle, S. (2021, May). *Advanced test tools for ADAS and ADS* (Report No. DOT HS 813 083). National Highway Traffic Safety Administration.
- [23] *AB Dynamics: SPT Single Belt Upgrade* [online], 2019. 4. Wildshire, England: AB Dynamics [cit. 2023-01-26]. Dostupné z: <https://www.abdynamics.com/resources/files/AN6042-i2-SPT-Single-Belt-Upgrade.pdf>

- [24] *AB Dynamics: Soft Pedestrian Target* [online], 2019. Wiltshire, England: AB Dynamics [cit. 2023-01-26]. ISSN SP6030. Dostupné z: <https://www.abdynamics.com/resources/files/SP6030-i9-Soft-Pedestrian-Target.pdf>
- [25] "AB Dynamics. (2019). Track testing solutions: AB Dynamics detailed catalogue (C9, Issue 1)." [online] [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: <https://docplayer.net/147894882-Track-testing-solutions-ab-dynamics-detailed-catalogue-c9-issue-1.html>
- [26] LI, Luhang, Lin XU, Hao CUI, Mohamed A. A. ABDELKAREEM, Zihao LIU, Jingyu CHEN a Ricardo A. RAMIREZ-MENDOZA, 2021. Validation and Optimization of Suspension Design for Testing Platform Vehicle. *Shock and Vibration* [online]. 2021, 1-15 [cit. 2023-04-23]. ISSN 1875-9203. Dostupné z: <https://doi.org/10.1155/2021/7963517>
- [27] PARK, Yeonggeol, Seohang LEE, Myoungyeon PARK, Jaekon SHIN a Jayil JEONG, 2019. Target robot for active safety evaluation of ADAS vehicles. *Journal of Mechanical Science and Technology* [online]. 33(9), 4431-4438 [cit. 2023-04-23]. ISSN 1738-494X. Dostupné z: <https://doi:10.1007/s12206-019-0839-3>
- [28] STEFFAN, Hermann, Christian ELLERSDORFER, Andreas MOSER a Julian SIMADER. UFO: Ultraflat Overrunable Robot for Experimental ADAS Testing. In: WATZENIG, Daniel a Martin HORN, ed. *Automated Driving* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2017, 2017-09-24, s. 589-594 [cit. 2023-05-16]. ISBN 978-3-319-31893-6. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-31895-0_29
- [29] ACEA. Bicyclist target - ACEA specifications. [online]. Brussels: ACEA, [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: https://www.acea.auto/files/Bicyclist_target-ACEA_specifications.pdf
- [30] Esri. Differential GPS Explained [online]. © Esri [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://www.esri.com/about/newsroom/arcuser/differential-gps-explained/>.
- [31] ACEA. Articulated pedestrian target specifications - Version 1.0. [online]. Brussels: ACEA, [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: https://www.acea.auto/files/Articulated_Pedestrian_Target_Specifications_-_Version_1.0.pdf
- [32] AB Dynamics. (2017, September 14). ABD Robotics [Video file]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=x7-SS1LxjPw&ab_channel=ABDynamics.
- [33] MUNSON, B. R., YOUNG, D. F., OKIISHI, T. H. *Fundamentals of Fluid Mechanics*. Wiley, 1998.
- [34] Online Wind Tunnel Laboratory - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Typical-drag-coefficients-for-regular-3-D-objects_tbl2_273771608
- [35] AB Dynamics. [online]. Dostupné z: <https://www.abdynamics.com/en/>.
- [36] e-konstrukter.cz [online]. Praha: Ing. Petr Vrána, c2021 [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/vlastnosti-vzduchu>.

- [50] Hadex.cz. L566A Stykač 24V/100A ZJ100D [online]. © Hadex.cz [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.hadex.cz/l566a-stykac-24v100a-zj100d/>.
- [51] JULIAN, P., A. OLIVA, P. MANDOLESÍ a H. CHIACCHIARINI. Output discrete feedback control of a DC-DC buck converter. In: *ISIE '97 Proceeding of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics* [online]. IEEE, 1997, s. 925-930 [cit. 2023-05-11]. ISBN 0-7803-3936-3. Dostupné z: [doi:10.1109/ISIE.1997.648847](https://doi.org/10.1109/ISIE.1997.648847)
- [52] Conrad Electronic. List technických údajů: Mean Well RSD-60L-24 DC/DC měnič napětí [online]. © Conrad Electronic [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/001761281DS01/list-technickyx-udaju-1761281-mean-well-rsd-60l-24-dcdc-menix-napeti-24-vdc-36-vdc-48-vdc-72-vdc-24-vdc25-a-60-w.pdf>.
- [53] DRATEK.cz. LED IP68 přepínač 19mm 12-24V s červeným podsvícením [online]. © DRATEK.cz [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/148551-led-ip68-prepinac-19mm-12-24v-cervene-podsviceni.html>.
- [54] AliExpress. [online]. Dostupné z: [https://www.aliexpress.com/item/1005004078441750.html?spm=a2g0o.detail.1000060.1.518f588ebRsIFl&gps-id=pcDetailBottomMoreThisSeller&scm=1007.13339.291025.0&scm_id=1007.13339.291025.0&scm-url=1007.13339.291025.0&pvid=bd5aa9d4-56fa-45cf-ab64-36ca0418d5a2&t=gps-id:pcDetailBottomMoreThisSeller,scm-url:1007.13339.291025.0,pvid:bd5aa9d4-56fa-45cf-ab64-36ca0418d5a2,tpp_buckets:668%232846%238111%231996&pdp_npi=3%40dis%21CZK%212417.79%212055.1%21%21%21%21%21%402101c67a16840940002318287e4575%2112000027968869006%21rec%21CZ%21.\)](https://www.aliexpress.com/item/1005004078441750.html?spm=a2g0o.detail.1000060.1.518f588ebRsIFl&gps-id=pcDetailBottomMoreThisSeller&scm=1007.13339.291025.0&scm_id=1007.13339.291025.0&scm-url=1007.13339.291025.0&pvid=bd5aa9d4-56fa-45cf-ab64-36ca0418d5a2&t=gps-id:pcDetailBottomMoreThisSeller,scm-url:1007.13339.291025.0,pvid:bd5aa9d4-56fa-45cf-ab64-36ca0418d5a2,tpp_buckets:668%232846%238111%231996&pdp_npi=3%40dis%21CZK%212417.79%212055.1%21%21%21%21%21%402101c67a16840940002318287e4575%2112000027968869006%21rec%21CZ%21.))
- [55] SilnéMagnety.cz. Síla magnetu [online]. [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://silnemagnety.cz/sila-magnetu/>.
- [56] Gumex.cz. Oteruvzdorná těsnící příž A590-00404030 [online]. Dostupné z: <https://www.gumex.cz/oteruvzdorna-tesnici-pryz-a590-00404030>.
- [57] TraceParts. ONKA PG-11 Cable Gland IP68 Polyamide Black [online]. Dostupné z: <https://www.traceparts.com/en/product/onka-pg-11-cable-gland-ip68-polyamide-black?Product=90-16062022-035039&PartNumber=9122>.
- [58] Google.com. Hyundai Tucson Specifications Sheet [online]. Dostupné z: https://www.hyundai.com/content/dam/hyundai/au/en/models/tucson/docs/Hyundai_Tucson_Specifications_Sheet.pdf.
- [59] atWeb. Data Sheet: [Alclad Aluminum 6061-T6] [online]. Dostupné z: <https://matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=3a2e111b27ef4e5d813bad6044b3f318>.
- [60] Pixhawk. [online]. [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://pixhawk.org/>.
- [61] ArduPilot. [online]. [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://ardupilot.org/#>.

Seznam použitých zkratek a symbolů

3D	[–]	Trojrozměrný
6S1P	[–]	Konfigurace baterie (6 sériově, 1 paralelně)
A	[A]	Páka vahadla A
a	[$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]	Zrychlení platformy
ABS	[–]	Antilock Braking System (Systém proti blokování kol při brzdění)
AC	[–]	Střídavý proud
ACC	[–]	Adaptive Cruise Control (Adaptivní tempomat)
ADAS	[–]	Advanced Driver Assistance Systems (Pokročilé asistenční systémy pro řidiče)
AEB	[–]	Automatic Emergency Braking (Automatické nouzové brzdění)
AKU	[–]	Akumulátor
B	[A]	Páka vahadla B
BLDC	[–]	Brushless Direct Current (Bezkartáčový stejnosměrný motor)
C_a	[Ah]	Kapacita akumulátoru
C_c	[–]	Součinitel aerodynamického odporu cyklisty
C_p	[–]	Součinitel aerodynamického odporu platformy
CAD	[–]	Computer Aided Design (Počítačem podporovaný design)
CAN bus	[–]	Controller Area Network bus (Síťová sběrnice pro komunikaci mezi kontroléry)
CBDA	[–]	Car-to-Bicyclist Driving Across (Auto-jízdní kolo přejíždějící)
CBFA	[–]	Car-to-Bicyclist Far-side Adult (Auto-jízdní kolo dospělý daleká strana)
CBLA	[–]	Car-to-Bicyclist Left turn Adult (Auto-jízdní kolo levý odbočující dospělý)
CBNA	[–]	Car-to-Bicyclist Near-side Adult (Auto-jízdní kolo dospělý blízka strana)
CBNAO	[–]	Car-to-Bicyclist Near-side Adult Over-taking (Auto-jízdní kolo dospělý předjíždějící)

CBTA	[-]	Car-to-Bicyclist Turning Across (Auto-jízdní kolo přejíždějící)
CPFA	[-]	Car-to-Pedestrian Far-side Adult (Auto-pěšák dospělý daleká strana)
CPLA	[-]	Car-to-Pedestrian Left turn Adult (Auto-pěšák levý odbočující dospělý)
CPNA	[-]	Car-to-Pedestrian Near-side Adult (Auto-pěšák dospělý blízká strana)
CPNCO	[-]	Car-to-Pedestrian Near-side Child Over-taking (Auto-pěšák dítě předjíždějící)
CPRA	[-]	Car-to-Pedestrian Right turn Adult (Auto-pěšák pravý odbočující dospělý)
CPTA	[-]	Car-to-Pedestrian Turning Across (Auto-pěšák přecházející)
D_m	[-]	Vnější průměr kola platformy
DC	[-]	Stejnoseměrný proud (Direct Current)
DGPS	[-]	Diferenční GPS (Differential GPS)
DIL	[-]	Driver In the Loop (řidič v cyklu)
E	[m]	Vzdálenost figuríny od bodu nárazu
ECU	[-]	Elektronická řídicí jednotka (Electronic Control Unit)
ESA	[-]	Asistent úhybného manévru (Evasive Steering Assistance)
ESC	[-]	Elektronický regulátor rychlosti (Electronic Speed Controller)
ESC	[-]	Elektronická stabilizace vozu (Electronic Stability Control)
ESS	[-]	Emergency Stop Signal (Signál nouzového zastavení)
EU	[-]	Evropská unie (European Union)
Euro NCAP	[-]	Evropský program hodnocení nových automobilů (European New Car Assessment Programme)
F_{au}	[N]	Síla generovaná na jeden tlumič automobilem
F_{tl}	[N]	Síla působící na tlumič od zatížení vozidlem
$F_{tl-real}$	[N]	Síla potřebná pro stlačení tlumiče
$F_{x_{1/2}}$	[N]	Síla působící na jednu zátěžovou oblast ve směru osy X
$F_{y_{1/2}}$	[N]	Síla působící na jednu zátěžovou oblast ve směru osy Y
F_m	[N]	Normálová síla působící na jedno kolo

LITERATURA

F_r	[N]	Síla odporu prostředí (aerodynamický odpor)
F_v	[N]	Síla valivého odporu
F_x	[N]	Síla od vozidla, působící na platformu ve směru osy X
F_y	[N]	Síla od vozidla, působící na platformu ve směru osy Y
FARS	[–]	Systém zpráv o nehodách na federálních dálnicích (Fatality Analysis Reporting System)
FCW	[–]	Varování před čelním srážkou (Forward Collision Warning)
FM	[–]	Frekvenční modulace (Frequency Modulation)
g	[m · s ⁻²]	Normální tíhové zrychlení
G	[m]	Dráha pro zrychlení platformy ve specifickém tesu
GES	[–]	Systém všeobecných odhadů (General Estimates System)
GPS	[–]	Globální polohový systém (Global Positioning System)
HIL	[–]	Hardwarová simulace v cyklu (Hardware-in-the-Loop)
HMH	[–]	Hypotéza Huber-von Mises-Hencky
$I_{r_{max}}$	[A]	Maximální špičkový proud ESC
I_{sc}	[A]	Proudový odběr cívky stykače
I_a	[A]	Maximální proudové zatížení akumulátoru
I_m	[A]	Špičkový proudový odběr motoru
I_p	[A]	Maximální spínaný proud přepínačem
I_r	[A]	Maximální konstantní proud ESC
I_s	[A]	Maximální konstantní proud stykače
I_z	[A]	Maximální výstupní proud step-down měniče
IEC 61508	[–]	Mezinárodní norma pro bezpečnost funkcí týkajících se elektrických/elektronických/programovatelných elektronických bezpečnostních souvisejících systémů
IP	[–]	Ingress Protection (stupeň ochrany)
ISO	[–]	Mezinárodní organizace pro normalizaci (International Organization for Standardization)
k	[–]	Konstanta odporu prostředí
K_{v_m}	[min ⁻¹ · V ⁻¹]	Rychlostní konstanta motoru

K1	[–]	Konektor XT90
K2	[–]	Konektor XT60E-F
K3	[–]	Konektor JST-XH
LED	[–]	Světlo emitující dioda (Light Emitting Diode)
$L_{tl-real}$	[m]	Rozteč montážních ok vybraného tlumiče
LiDAR	[–]	Light Detection and Ranging (metoda pro měření vzdálenosti světlem)
LiFePo4	[–]	Lithium-železo-fosfátová baterie
LiIon	[–]	Lithium-iontová baterie
LiPoHV	[–]	Lithium-polymerová baterie s vysokým napětím
LiPol	[–]	Lithium-polymerová baterie
M	[–]	Motor ve schématu
m	[kg]	Hmotnost platformy
m_a	[kg]	Hmotnost připadající na jedno kolo přední nápravy automobilu Hyundai Tucson
m_f	[kg]	Hmotnost figuríny cyklisty
M_k	[N · m]	Krouticí moment
M_m	[N · m]	Krouticí moment motoru
m_p	[kg]	Hmotnost platformy
M4	[–]	Metrický závit rozměru 4 mm
MKP	[–]	Metoda Konečných Prvků
N/A	[–]	Not applicable (neaplikovatelné)
n_m	[–]	Počet motorů/kol platformy
NTC	[–]	Negativní teplotní koeficient
OSN	[–]	Organizace spojených národů
P	[W]	Výkon motoru platformy
P_{sc}	[W]	Výkon cívky stykače
P_m	[W]	Nominální výkon motoru
PCB	[–]	Printed Circuit Board (tištěný spoj)

LITERATURA

PMD	[–]	Photonic Mixer Device
PPM	[–]	Pulzová poziciální modulace
PWM	[–]	Pulzně šířková modulace
r	[m]	Poloměr kola platformy
RADAR	[–]	Radio Detection and Ranging (metoda pro detekci a měření vzdálenosti pomocí rádiových vln)
RC	[–]	Radio Control (rádiové ovládání)
RSSI	[dBm]	Received Signal Strength Indicator (Indikátor síly přijatého signálu)
Rx	[–]	Přijímač
S	[m]	Dráha nezrychlujícího pohybu platformy
S_a	[m]	Dráha pro zrychlení platformy
S_c	[m ²]	Čelní plocha cyklisty ve směru jízdy
S_p	[m ²]	Čelní plocha platformy ve směru jízdy
SBUS	[–]	Sériová sběrnice
SIL	[–]	Software in the Loop (software v cyklu)
SVO	[–]	Samohlavné video
t	[s]	Čas pro zrychlení platformy
TV	[–]	Testování vozidlo
U_{BEC}	[V]	Výstupní napětí napájecího obvodu ESC (BEC)
U_{sc}	[V]	Napětí ovládací cívky stykače
U_{zr}	[V]	Rozsah vstupního napětí step-down měniče
U_a	[V]	Nominální napětí akumulátoru
U_m	[V]	Provozní napětí motoru
U_p	[V]	Maximální napětí spínané přepínačem
U_r	[V]	Provozní napětí ESC SUPERFOC6.8
U_s	[V]	Maximální trvalé napětové zatížení stykače
U_t	[V]	Napájecí napětí diody přepínače
U_z	[V]	Výstupní napětí step-down měniče

UART	[-]	Univerzální asynchronní přijímač/vysílač
UN	[-]	Spojené národy
UNECE	[-]	Hospodářská komise pro Evropu OSN
USB	[-]	Univerzální sériová sběrnice
v	[m/s]	Rychlost platformy v testu
VEHIL	[-]	Vozidlový hardware v smyčce
VESC	[-]	Vedderův rychlostní regulátor rychlosti (Vedder Electronic Speed Controller)
VIL	[-]	Vozidlo v cyklu (Vehicle In the Loop)
VRU	[-]	Zranitelný uživatel silnice
$X_{tl-real}$	m	Rozsah stlačení zvoleného tlumiče
ξ	[m]	Rameno valivého odporu
ρ	[kg · m ⁻³]	Hustota vzduchu při 20° C

Seznam obrázků

2.1	Vývojový V-diagram pro systémy ADAS vycházející z normy ISO 26262 [3]	17
2.2	Časové horizonty typické pro úkoly na úrovni navigace, navádění a stabilizace [3]	18
2.3	Znázornění oblasti použití detekčních prvků ADAS [5]	18
2.4	Poslední bod pro úhybný manévr a brzdny manévr [18]	21
2.5	Detekce objektů (resp. chodců) pomocí rozhraní barevných oblastí [7]	21
2.6	Sledování chodců [8]	22
2.7	Noční vize s varováním o chodci, zobrazena na přístrojové desce vozu značky BMW [3]	22
3.1	Figuríny používané na testy Euro NCAP [15]	24
3.2	CPFA - 50 scénář, dospělý běžící ze strany řidiče [15]	27
3.3	CPNA-25 & CPNA-75 scénáře, dospělý chodec ze strany spolujezdce [15]	28
3.4	CPNCO-50 scénář, dítě běžící z poza překážky, ze strany spolujezdce [15]	28
3.5	CPLA scénář, podélná chůze dospělé osoby [15]	29
3.6	CPTAfs scénář - vozidlo odbočuje doleva, chodec přechází ze strany řidiče [15]	29
3.7	CPTAfo scénář - vozidlo odbočuje doleva, chodec přechází ze strany spolujezdce [15]	30
3.8	CPTAns scénář - vozidlo odbočuje doprava, chodec přechází ze strany spolujezdce [15]	30
3.9	CPTAno scénář - vozidlo odbočuje doprava, chodec přechází ze strany řidiče [15]	31
3.10	CPRA/CPRC scénář, chodec ze strany spolujezdce (vlevo) a stacionární (vpravo) [15]	31
3.11	CBFA scénář, cyklista ze strany řidiče [15]	32
3.12	CBNA scénář, cyklista ze strany spolujezdce [15]	33
3.13	CBNAO scénář, cyklista ze strany spolujezdce, vyjíždějící z poza překážky [15]	33
3.14	CBLA scénáře, cyklista jede rovnoběžně (AEB vlevo & FCW vpravo) [15]	34
3.15	CBTAfo scénáře, cyklista jede z protější strany [15]	34
3.16	CBDA scénáře, cyklista jede podél, vozidlo otevírá dveře [15]	35
4.1	Portálový testovací systém FGS, pro figurínu chodce od společnosti 4a, Rakousko [3]	36
4.2	Portálový testovací systém pro figurínu chodce, od společnosti Applus IDI-ADA, Španělsko [3]	37
4.3	Portálový testovací systém pro figurínu chodce, od společnosti Continental Safety Engineering, Německo [3]	37
4.4	Pohonná jednotka společnosti AB Dynamics [22]	38
4.5	Řídící jednotka systému od firmy AB Dynamics [22]	38
4.6	Pohyblivá platforma s řemenem od firmy AB Dynamics [22]	39
4.7	Řemenice a závaží firmy AB Dynamics [22]	39
4.8	Uspořádání systému s jednoduchým pásem pro podélné testy [23]	40
4.9	Pohyblivá platforma pro podélné testy firmy AB Dynamics [23]	40
4.10	Platforma LaunchPad Spin od společnosti AB Dynamics [35]	41
4.11	Platforma vyvíjená na Kookmin University, Seoul, Korea [27]	42

4.12	Odpružení platformy vyvíjené na Kookmin University, Seoul, Korea [27]	42
4.13	Platforma vyvíjená na Institute of Vehicle Safety, Graz University of Technology [28]	43
4.14	Konstrukční řešení rádiem řízené platformy, Wuhan University of Technology [26]	44
4.15	Systém robotického řízení společnosti AB Dynamics [25]	44
4.16	Synchronizace pohybu vozidla a figuríny [24]	45
5.1	Rámová konstrukce platformy, Wuhan University of Technology [26]	46
5.2	Znázornění dosednutí rámové konstrukce platformy, Wuhan University of Technology [26]	47
5.3	Řešení platformy s nosnou skořepinou	47
5.4	Pohon s motorem mimo kolo, Kookmin University, Korea [27]	49
5.5	Uchycení figuríny AB dynamics [24]	49
5.6	Zámek figuríny AB dynamics [32]	50
6.1	Motor MTO7052HBM výrobce Maytech [37]	53
6.2	Rozložený motor MTO7052HBM výrobce Maytech [37]	54
6.3	ESC SUPERFOC6.8 50 A V6 od firmy Maytech [37]	55
6.4	Pinout konektorů SUPERFOC6.8 50A V6 od firmy Maytech [37]	56
6.5	Pohled na spodní stranu platformy, bez krytu akumulátorů (modré kvádry)	58
6.6	Akumulátor Gens Tattu 40000 mAh 22.8 V 10C 6S1P [41]	59
6.7	Označení zvoleného akumulátoru	59
6.8	Přenos signálů mezi vysílačem a přijímačem [45]	60
6.9	Přijímač FrSky Archer R6 od výrobce FrSky [44]	63
6.10	Anténa přijímače v plastovém kuželu, vyrobeném pomocí 3D tisku	63
6.11	Antény přijímače schované v plastových kuželech	64
6.12	Tvar šíření signálu ve vzduchu [48]	64
6.13	Vysílač Taranis Q X7S od výrobce FrSky [44]	65
6.14	Stykač ZJ100D [50]	66
6.15	DC/DC měnič RSD-30L-3.3 výrobce Mean Well [52]	67
6.16	LED IP68 přepínač 19 mm [53]	68
7.1	Pohled na platformu zespodu	69
7.2	Horní pohled na platformu	70
7.3	Řez platformou	70
7.4	Komponenty v šachtě elektroniky	72
7.5	Rozložený akumulátorový box	74
7.6	Kabelová vývodka výrobce Onka [57]	74
7.7	Ovládací panel platformy	75
7.8	Pohled na platformu zespodu	76
7.9	Snímek systému odpružení 1 - stavěcí šroub 2 - radiální čep	76
7.10	Kinematický rozbor tlumení kol	77
7.11	Kinematický rozbor tlumení kol - dosednutí 1 - stavěcí šroub, 2 - tlumič, 3 - rameno zavěšení, 4 - kolo	78
7.12	Tlumič výrobce AttLvTu [54]	78
7.13	Systém uchycení figuríny - rozložený pohled	80
7.14	Systém uchycení figuríny - složený pohled	81
7.15	Znázornění odstínění magnetického pole ocelovou deskou [55]	82

SEZNAM OBRÁZKŮ

7.16	Řez platformou v místě šachty pro elektroniku	82
8.1	Blokové schéma zapojení elektronických a elektrických prvků platformy . .	83
9.1	Skořepinový model, barva prvků indikuje tloušťku	85
9.2	Konečno-prvková síť výpočtového modelu	85
9.3	Distribuce a kvalita prvků Tri6 a Quad8 v simulaci	86
9.4	Vazby Displacement	87
9.5	Vyobrazení ploch na něž působí zatěžující síly	88
9.6	Řez nájezdovou rampou platformy	88
9.7	Průběh zatěžujících sil v závislosti na čase	89
9.8	Průběh reakčních sil ve vazbě Displacement A	90
9.9	Průběh maximální napjatosti v čase	90
9.10	Špičková napjatost v bodě vazby Displacement B	91
9.11	Oblast maximální napjatosti na žebro nosného krytu v čase 2 s	91
9.12	Oblast maximální napjatosti na žebro nosného krytu v čase 3 s	92
9.13	Průběh maximální deformace v závislosti na čase - osa X a Y	92
9.14	Grafické znázornění deformace výpočtového modelu v čase 2,5 s	93

Seznam tabulek

2.1	Shrnutí tří „ <i>top-level</i> “ provozních režimů [3]	16
3.1	Souhrn parametrů pro scénáře střetu vozidla s chodcem TV - Testovací Vůz	27
3.2	Souhrn parametrů pro scénáře střetu vozidla s cyklistou TV - Testovací Vůz	32
6.1	Parametry relevantních testů Euro NCAP	51
6.2	Vybrané parametry motoru MTO7052HBM [37]	54
6.3	Vybrané parametry ESC SUPERFOC6.8 50 A V6 [37]	55
6.4	Porovnání parametrů vybraných baterií [38]	57
9.1	Osové hodnoty pro vazby Displacement	86

Seznam příloh

Příloha 1: model platformy ve formátu STEP: PLATFORMA.STEP

Příloha 2: model platformy ve formátu 3D PDF: PLATFORMA.PDF

Příloha 3: výkres svařence nosného krytu DP 01-00: NOSNÝ KRYT.PDF

Příloha 4: list technických údajů měniče RSD-30L-3.3