FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE

Ústav automobilů, spalovacích motorů
a kolejových vozidel

# Lehký cíl pro testování vozidlových systémů ADAS

# Soft Target for ADAS Vehicle Systems Testing

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**
**2020**

**Bc. Jakub DUŠEK**

| | |
|---|---|
| **Studijní program:** | N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ |
| **Studijní obor:** | 2301T047 Dopravní letadlová a transportní technika |
| **Vedoucí práce:** | Ing. Václav Jirovský Ph.D. |

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Dušek** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **409551**

Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**

Zadávající katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**

Studijní program: **Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Dopravní, letadlová a transportní technika**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Lehký cíl pro testování vozidlových systémů ADAS**

Název diplomové práce anglicky:

**Soft target for ADAS testing**

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte lehký cíl reprezentující osobní automobil pro využití při testování vozidlových systémů ADAS (Advanced Driver Assistance Systems). Základním požadavkem je minimalizace poškození testovaného vozidla při střetu s lehkým cílem při rychlostech do 100km/h při zachování dostatečně realistického vzhledu navrhovaného cíle. Pro návrh konstrukce využijte připravovanou normu ISO a též proveďte rešerši a analýzu současných existujících zařízení obdobného typu.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Václav Jirovský, Ph.D., 16123**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **19.06.2020** Termín odevzdání diplomové práce: **31.07.2020**

Platnost zadání diplomové práce: _____

| Ing. Václav Jirovský, Ph.D. | doc. Ing. Oldřich Vítek, Ph.D. | prof. Ing. Michael Valášek, DrSc. |
|---|---|---|
| podpis vedoucí(ho) práce | podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry | podpis děkana(ky) |

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

| Datum převzetí zadání | Podpis studenta |
|---|---|



© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

# Anotační záznam

**Jméno autora:** Bc. Jakub Dušek

**Název práce:** Lehký cíl pro testování vozidlových systémů ADAS

**Anglický název:** Soft Target for ADAS Vehicle Systems Testing

**Rozsah práce:**

76 stran

84 obrázků

4 tabulky

1 graf

**Akademický rok:** 2019/2020

**Ústav:** 12 120 Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

**Studijní program:** N 2301 Strojní inženýrství

**Vedoucí práce:** Ing. Václav Jirovský Ph.D.

**Klíčová slova**

Pokročilé asistenční systémy, ADAS, Lehké cíle pro testování ADAS systémů, Testování asistenčních systémů, AEB testování, ACC testování

**Key words**

Advanced Driver Assistance Systems, ADAS, Soft Target for ADAS Vehicle Systems testing, Assistance Systems testing, AEB testing, ACC testing

# Abstrakt

Diplomová práce je věnována návrhu konstrukce lehkého cíle pro testování vozidlových systémů ADAS při rychlostech do 100 km/h. V diplomové práci jsou vysvětleny druhy ADAS systémů, dále také jak se tyto systémy řeší. V diplomové práci jsou dále uvedeny hlavní výrobci lehkých cílů společně s několika menšími. Na základě rešerše možných materiálů, které lze na konstrukci použít, je v diplomové práci proveden konstrukční návrh lehkého cíle pro testování vozidlových systémů ADAS. Návrh je podpořen 3D modely společně s výpočty.

# Abstract

The Diploma Thesis is devoted to the Design of Soft Target structure for ADAS Vehicle Systems testing with maximum speed limit 100 km/h. The Diploma Thesis explains types of ADAS Systems, as well as how these Systems are solved. The Diploma Thesis also lists the main Manufacturers of Soft Targets together with several smaller ones. Based on the Research of possible materials which can be used on the Structure the construction Design of Soft Target for ADAS Vehicle testing is made in the Diploma Thesis. The Design is supported by 3D models along with calculations.

# Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: "Lehký cíl pro testování vozidlových systémů ADAS" vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu zdrojů, které tvoří poslední kapitolu této práce.

V Praze dne: 31. 7. 2020

…….....

Jakub Dušek

## Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Václavu Jirovskému Ph.D. za jeho pomoc při vytváření diplomové práce, za jeho ochotný přístup a trpělivost při mém vedení, cenné rady a připomínky. Dále nesmím opomenout poděkování rodině za podporu finanční i psychickou během celého studia.

Obsah

1 Úvod - 4 -
2 ADAS systémy - 5 -
2.1 Systémy pro pomoc řidiče - 6 -
2.2 Systémy pro varování řidiče - 7 -
2.3 Systémy pro podporu řidiče - 10 -
3 Senzory ADAS systémů - 11 -
3.1 RGB Kamery - 11 -
3.2 LIDAR - 13 -
3.3 Radary - 14 -
4 Výrobci lehkých cílů - 15 -
4.1 AB Dynamics - 15 -
4.1.1 Micro - 15 -
4.1.2 Hatchback - 16 -
4.1.3 Sedan - 16 -
4.2 4Active Systems - 18 -
4.2.1 Model vozidla 4acviteC2 - 18 -
4.3 MoshonData - 19 -
4.3.1 Stojící cíl MD-SF - 19 -
4.3.2 Vozidlový cíl MD-VT F - 20 -
4.4 Messring - 21 -
4.4.1 Vozidlový cíl NHTSA - 21 -
4.5 Fakulta dopravní - 22 -
4.6 Přehled lehkých cílů - 23 -
5 Testování ADAS systémů - 24 -
5.1 Testovací dráha - 24 -
5.2 Klimatické podmínky - 24 -
5.3 Okolí - 24 -
5.4 Druhy testů s lehkým cílem - 25 -
5.4.1 Euro NCAP - 25 -
5.4.1.1 Zezadu: Auto – Auto Stojící (CCRs) - 25 -
5.4.1.2 Zezadu: Auto – Auto v pohybu (CCRm) - 26 -
5.4.1.3 Zezadu: Auto – Auto brzdění (CCRb) - 26 -
5.4.2 NHTSA NCAP - 27 -
5.4.2.1 Stojící lehký cíl - 27 -
5.4.2.2 Zpomalující lehký cíl - 27 -

5.4.2.3 Pomalu jedoucí lehký cíl ..... - 28 -
5.4.3 ISO 15622 a ISO 15623 ..... - 28 -
5.4.3.1 Test detekční zóny ..... - 28 -
5.4.3.2 Test přesnosti detekční vzdálenosti ..... - 29 -
5.4.3.3 Test cílového bočního rozlišení ..... - 29 -
6 Konstrukce lehkého cíle ..... - 30 -
6.1 Lehké konstrukční materiály ..... - 30 -
6.1.1 Lehké kovy ..... - 30 -
6.1.1.1 Hliník ..... - 31 -
6.1.1.2 Olovo ..... - 31 -
6.1.1.3 Cín ..... - 32 -
6.1.1.4 Hořčík ..... - 32 -
6.1.1.5 Zirkonium ..... - 33 -
6.1.2 Dřevo ..... - 34 -
6.1.3 Sendvič (laminát) ..... - 35 -
6.1.4 Plasty ..... - 36 -
6.1.4.1 Termoplasty ..... - 37 -
a) Polyetylen ..... - 37 -
b) Polypropylen ..... - 38 -
c) Polyvinylchlorid ..... - 38 -
d) Polystyren ..... - 39 -
6.1.4.2 Reaktoplasty ..... - 40 -
a) Polyuretan ..... - 40 -
6.1.5 Pryž ..... - 41 -
6.1.6 Korek ..... - 41 -
6.2 Zatížení konstrukce ..... - 43 -
6.2.1 Soustava aerodynamických sil ..... - 43 -
6.2.2 Aerodynamické síly ..... - 44 -
6.2.3 Volba aerodynamických koeficientů ..... - 44 -
6.2.3.1 Aerodynamický součinitel odporu ..... - 45 -
6.2.3.2 Aerodynamický součinitel vztlaku ..... - 47 -
6.2.3.3 Aerodynamický součinitel boční síly ..... - 49 -
6.3 Koncepční návrh ..... - 50 -
6.4 Použité materiály ..... - 51 -
6.5 Zatížení konstrukce ..... - 54 -
6.5.1 Zvolené a vypočtené hodnoty ..... - 55 -
6.5.2 Výpočet aerodynamických sil ..... - 56 -
6.6 Návrh konstrukce ..... - 57 -
6.6.1 Samotná konstrukce ..... - 57 -
6.6.2 Pevnostní analýza ..... - 60 -
6.6.3 Aerodynamické proudění ..... - 61 -
6.6.4 Frekvenční analýza ..... - 62 -

6.7 Sestavení konstrukce ..... - 63 -
6.7.1 Spojení trubek a tvarovek ..... - 63 -
6.7.1.1 Trvalé spojení ..... - 63 -
6.7.1.2 Spojení magnety ..... - 64 -
7 Závěr ..... - 65 -
8 Použité symboly ..... - 66 -
9 Seznam obrázků ..... - 67 -
10 Seznam grafů ..... - 69 -
11 Seznam tabulek ..... - 69 -
12 Použití literatura ..... - 70 -
13 Seznam příloh ..... - 76 -

# 1 Úvod

V moderním automobilovém světě stále roste používání pokročilých technologií a v dnešní době je nemyslitelné, aby nový automobil střední třídy neměl například adaptivní tempomat nebo kontrolu mrtvého úhlu. Dokonce i automobily nižších tříd mají v dnešní době systémy, které by ještě před několika lety byly obrovskou finanční zátěží i pro automobily vyšších tříd, jako například ABS (protiblokovací brzdový systém), ESP (elektronická stabilizace vozidla) a další. Testování takových systémů je v celku jednoduché.

V dnešní době se do automobilů instalují nové, daleko pokročilejší asistenční systémy. Jejich úkolem je zvýšit bezpečnost vozidel, zajistit bezpečnost posádky v co nejvyšší míře, vylepšit ovladatelnost vozidla a celkově předejít nehodám nebo zmírnit následky nehod v největším možném rozsahu. Takové systémy se nazývají „Advanced Driver Assistance Systems“, zjednodušeně zkratkou ADAS, což by se dalo přeložit jako „Pokročilé asistenční systémy pro řidiče“. Mezi tyto systémy patří celá řada různých asistentů. Asistenti aktivně zasahující do řízení (např. asistent nouzového brzdění), upozorňující řidiče (např. sledování mrtvého úhlu), „napovídající“ řidiči (např. parkovací asistent), sledující komfort posádky ve vozidle nebo sledující stav řidiče (např. kontrola bdělosti řidiče).

ADAS systémy pomáhají snižovat počet nehod, v roce 2019 jich bylo dokonce 107 572 v celé České republice. [53] Američtí a evropští výrobci automobilů mají v úmyslu v nejbližší budoucnosti zařadit některé asistenční systémy jako standardní výbavu, řeč je převážně o systémech AEB (Pokročilý asistent nouzového brzdění). [54]

Proto je na výrobce automobilů po celém světě vytvářen tlak, aby nadále vyvíjeli a začlenili do automobilů tyto asistenty. Výrobci následně musí všechny nové systémy otestovat před uvedením do sériové výroby a zajistit jejich bezproblémovou funkčnost a bezporuchovost. Tyto systémy jsou více a více složitější, jejich testování podléhá vysokým nárokům, tím pádem i samotná testovací zařízení musí splňovat vysoké požadavky, a to z jednoho prostého a logického důvodu, aby se testování podobalo reálnému provozu, reálným problémům a překážkám v provozu.

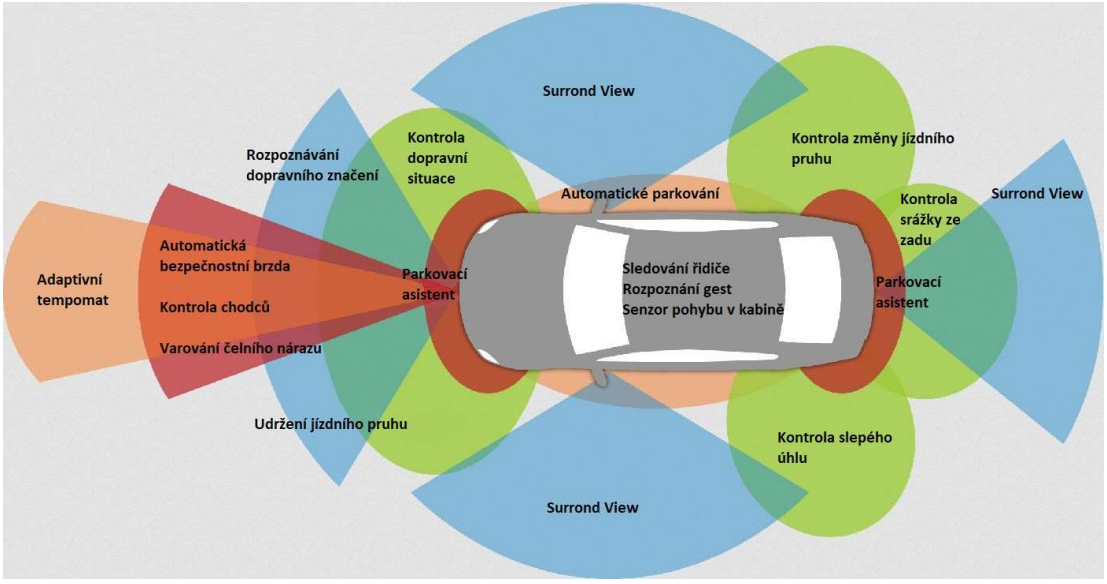
Obsahem této diplomové práce je navrhnout konstrukční řešení lehkého cíle pro testování vozidlových systémů ADAS. Práce je rozdělena na části, které se věnují samotným ADAS systémům, výrobcům lehkých cílů, podobám konkrétních testů a rešerši použitelných materiálů pro výrobu lehkého cíle. V dalších částech pojednává o samotné konstrukci a jejím zatížení. Celá práce je doplněna o výpočty, 3D modely a výkresy.

# 2 ADAS systémy

Advanced Driver Assistance Systems se dají přeložit jako pokročilé asistenční systémy pro řidiče. Jedná se o funkce, které pomáhají řidiči vyhnout se srážce (aktivní bezpečnost) nebo snížit její následky (pasivní bezpečnost). Výrobci automobilů ve stále větší míře začleňují ADAS systémy do svých nových modelů, aby nám pomohli řídit inteligentnějším a bezpečnějším způsobem a docházelo tak méně k dopravním nehodám a hlavně zraněním. ADAS systémy snižují požadavky kladené na řidiče, zvyšují celkově kontrolu řidiče nad vozidlem a zlepšují jeho styl jízdy.

Je nutné zdůraznit, že žádný systém nezbavuje řidiče zodpovědnosti za vlastní jízdu a bezpečnost. Používání systémů ADAS má i svá rizika, jako je například zhoršení řidičských dovedností při dlouhodobém používání těchto systémů, kdy se řidič může často až přespříliš spoléhat na systém a domnívat se, že za něj vše vyřeší. Některé systémy můžou vést k agresivnějšímu způsobu řízení, například adaptivní tempomat a jemu podobné systémy, které automaticky a intenzivně brzdí před překážkou.

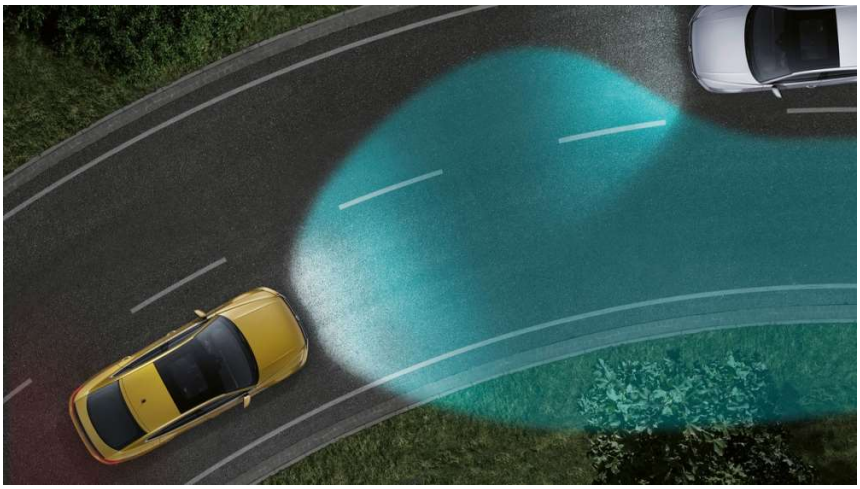
ADAS systémy se dají rozdělit do tří základních kategorií: pomoc pro řidiče, varování řidiče a podpora řidiče. První dvě kategorie aktivně nezasahují do řízení, ale jsou pouze informativní, upozorňují zvukově, vizuálně nebo hapticky.




*Obrázek 1 – ADAS systémy [2]*

## 2.1 Systémy pro pomoc řidiče

Většinou spočívají ve zjišťování překážek. Do této kategorie patří například noční vidění, které automaticky rozsvítí a opět zhasne dálková světla nebo adaptivní osvětlení, které automaticky přizpůsobuje intenzitu světla nebo sklon světlometů podle směru jízdy.

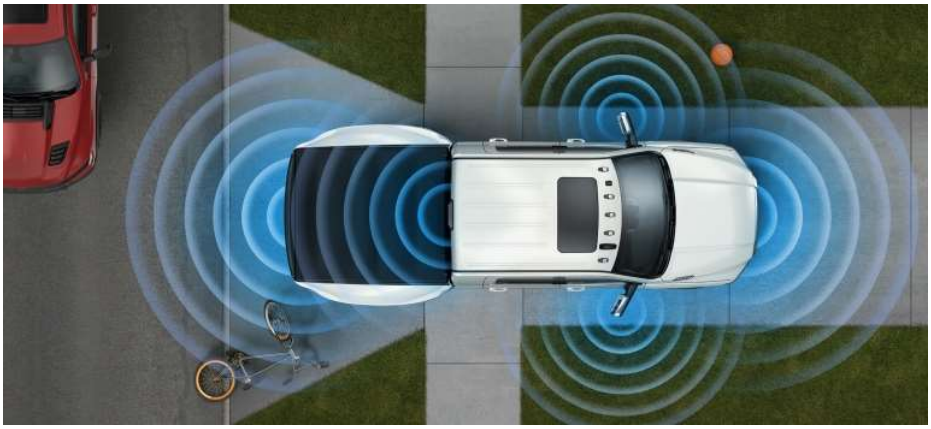


*Obrázek 2 – Přizpůsobení rozsvícených světel v zatáčce a protijedoucímu vozu [3]*

Dále bychom do této kategorie mohli zařadit systém automatického rozpoznávání dopravních značek, který udržuje příslušný rychlostní limit nebo řidiče upozorní na jeho překročení.

*Obrázek 3 – Rozpoznávání dopravních značek ve vozidlech VW [4]*

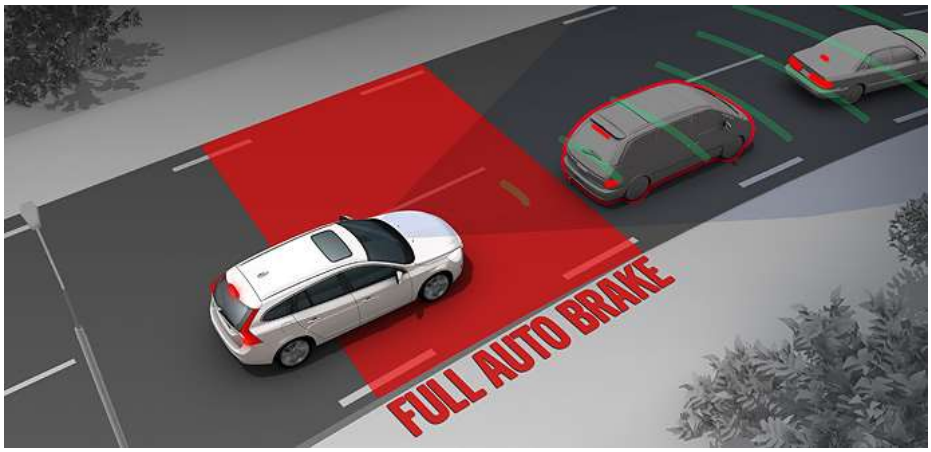
Do této kategorie dále patří i systém Surround View, který pomáhá bezpečně zaparkovat.



*Obrázek 4 – Systém Surround View 360° (4 kamery) [5]*

## 2.2 Systémy pro varování řidiče

Tyto systémy jsou zaměřeny na výstrahu před nebezpečím a vyhýbání se nehodám. Do této kategorie spadá systém varování před čelní srážkou (FCW), který při vyhodnocení rizika řidiče varuje nebo aktivuje brzdy při pokročilejším systému.

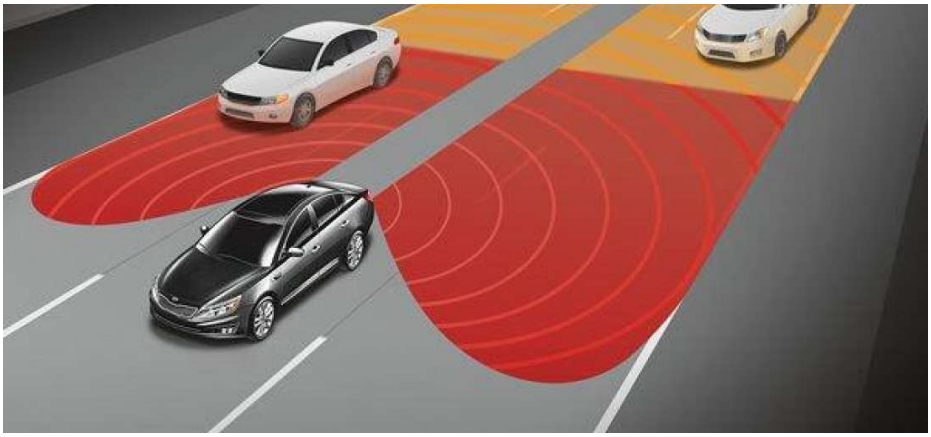



*Obrázek 5 – Systém varování řidiče před čelní srážkou [6]*

Dalším systémem je varování před neúmyslným opuštěním jízdního pruhu (LDW), který při vybočení z jízdního pruhu bez použití směrového ukazatele řidiče varuje. Při pokročilejším systému zahájí automatickou korekci řízení.

*Obrázek 6 – Detekce jízdního pruhu [7]*

Jako další bychom do této kategorie mohli zařadit systém detekce objektů v mrtvém úhlu (BSD), který varuje řidiče, pokud začne přejíždět do pruhu, ve kterém jede jiné vozidlo. Při pokročilejším systému navede vozidlo zpět do stávajícího jízdního pruhu.



*Obrázek 7 – Systém detekce mrtvého úhlu [8]*

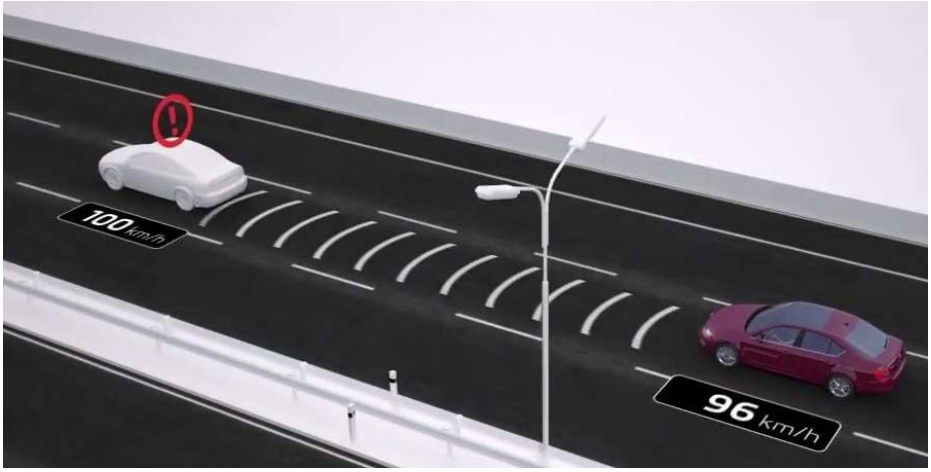
Dále bychom do této kategorie mohli zařadit systém varující před vznikem aquaplaningu, který v současné době vyvíjí společnost Continental.

*Obrázek 8 – Snímání louží a rozstřiku vody pro předpověď aquaplaningu [9]*

*Obrázek 9 – Signály z eTIS varují před vznikem aquaplaningu [9]*

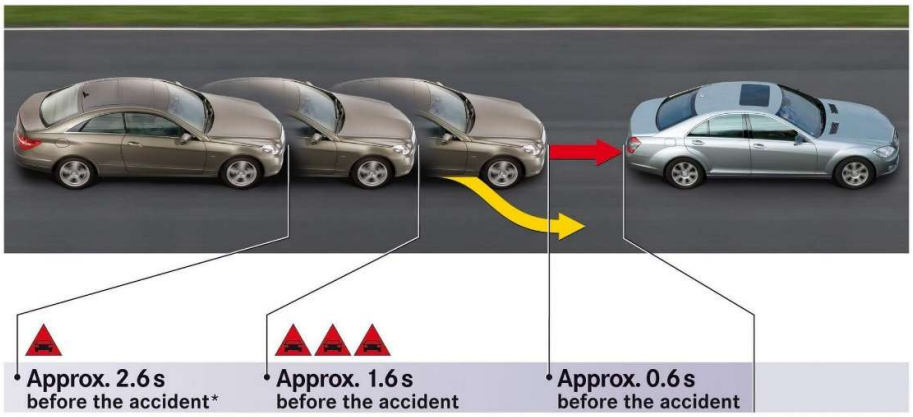
## 2.3 Systémy pro podporu řidiče

Do této kategorie patří systémy, které aktivně stabilizují vozidlo nebo s ním pohybují. Tímto systémem je například adaptivní tempomat (ACC), který upravuje řidičem zvolenou rychlost vozidla mimo jiné i tak, aby se udržovala stálá vzdálenost od vozidla jedoucího před ním. Dokáže zareagovat i na stacionární překážku. Tento systém úzce spolupracuje s následujícím systémem AEB.




*Obrázek 10 – Přizpůsobení rychlosti na základě rychlosti vpředu jedoucího vozidla [10]*

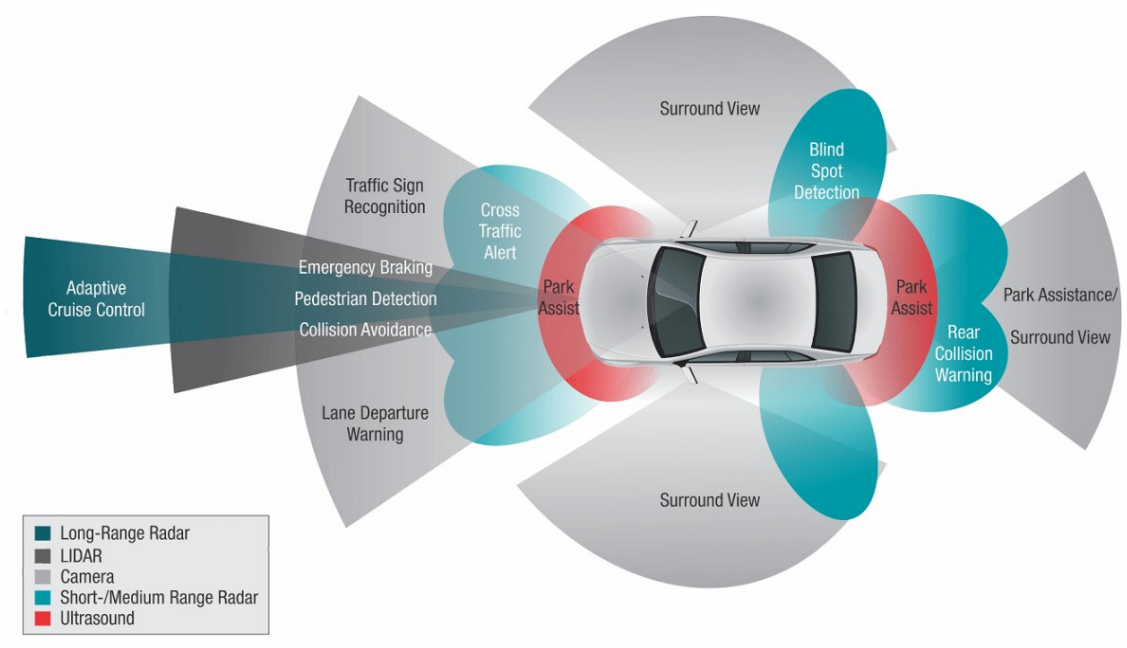
Nouzový brzdový asistent (AEB) je důležitým systémem, který pomáhá vyhnout se kolizi s vozidlem jedoucím vpředu nebo snížit její dopad. Přibližně 2,6 s před srážkou upozorní řidiče, 1,6 s před srážkou poté, co bylo upozornění opakováno 3x za sebou, začne automaticky brzdit. V poslední řadě, když řidič stále nereaguje, zahájí systém vyhýbání se objektu a zároveň je vyvinut maximální brzdný výkon. Mezi kritické situace patří i nebezpečí srážky s chodcem. Systém provádí i jiné úkony pro zvýšení bezpečnosti (např. přitažení bezpečnostních pásů nebo aktivace výstražných světel).




*Obrázek 11 – Funkce AEB systému [11]*

# 3 Senzory ADAS systémů

V automobilovém průmyslu se používají tři hlavní senzory pro správné fungování systémů ADAS. Každý senzor má své výhody i nevýhody, ideální je kombinace všech tří.




*Obrázek 12 – ADAS snímače [2]*

## 3.1 RGB Kamery

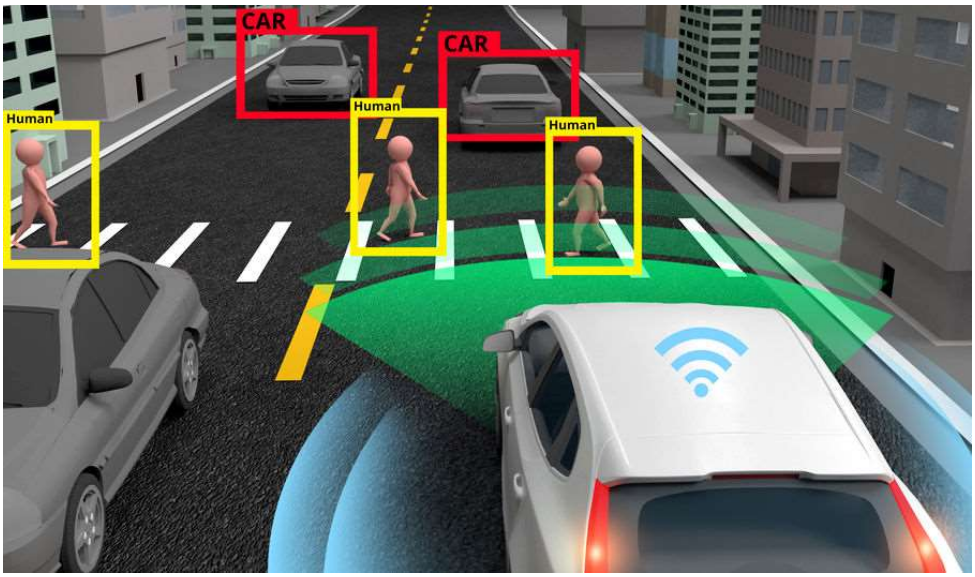
RGB kamery jsou podobné běžným spotřebitelským kamerám, jsou levné a vyskytují se v různých velikostech a s různými funkcemi. Lze je přizpůsobit každému vozidlu a jejich použití je bezproblémové. RGB kamera pomáhá identifikovat objekty, oddělit je od pozadí a použít tyto objekty k pochopení scény, protože jsou informace zachyceny včetně všech kontur. Programy tyto informace dále zpracovávají.

Nevýhodou je výkon za špatných světelných podmínek, kdy výkon dramaticky klesá. Při protisvětle zachytí pouze stín a už nikoliv kontury. Za špatných povětrnostních podmínek, jako je déšť, mlha nebo sníh, je kvalita zachyceného obrazu pomocí RGB kamer srovnatelná s lidských okem a nelze se spolehnout pouze na ně. Proto je nutné kamery doplnit některým z dalších senzorů (radar či LIDAR), a tak pracují ve spolupráci s těmito senzory a nikdy samostatně.

RGB kamera potřebuje další osvětlení. Je náročné měřit pomocí jedné kamery vzdálenost, to lze kompenzovat použitím dvou RGB kamer ve stereu, avšak jsme omezeni šířkou vozidla a nelze očekávat přílišnou přesnost.

Zjednodušeně lze tvrdit, že single kamerový senzor pomáhá identifikovat objekty a poskytuje nejasnou představu o jejich vzdálenostech. Používá se pro systém udržení vozidla v jízdním pruhu pomocí snímání vodorovného dopravního značení a pro zobrazování svislého dopravního značení na palubních přístrojích pomocí snímání tohoto značení.

Pro přesnější určení poloh objektů je zapotřebí použít stereo kamerový systém, tedy dvě RGB kamery. Tyto kamery musí být vhodně umístěny ve vozidle. Při známé přesné poloze kamer vůči vozidlu, dále jsou-li kamery ve stejné výšce a osy objektivů jsou souosé, poté kamery snímají stejný obraz s určitým odsazením mezi sebou. Tím je určení přesné polohy objektu velice snadné vzhledem k souřadnému systému vozidla. [46]




*Obrázek 13 – Příklad scény snímané pomocí RGB kamery [46]*

## 3.2 LIDAR

Ve skutečnosti se jedná o laserové skenery, které vyzařují mnoho laserových paprsků vysokou rychlostí ve všech směrech a přijímají zpětné signály během času, kdy paprsky zhasly. Tím poskytují informace o vzdálenosti objektů. Odražené paprsky mají definovaný úhel a vzdálenost od LIDAR, tedy automobilu.

Výstupem LIDAR je 3D bodová mapa, ve které je objekt dán polohou a směrem. Tato funkce nevyžaduje žádný zvláštní proces, což je výhoda oproti kamerám. Velké množství paprsků zajišťuje kvalitní rozlišení, tím pádem lze měřit na delší vzdálenosti s mnohem vyšší přesností. LIDAR navíc funguje téměř za každého počasí, výkon ztrácí pouze s vlhkostí a deštěm.

Nevýhodou je vysoká cena. Tato technologie prochází každodenním vývojem a je mnohem dražší než kamery. Umístění na vozidlech je také nákladné. LIDAR musí být odhalen, musí být na každé straně vozidla nebo jeden na horní části vozidla, což také narušuje vzhled vozidla. Dále množství informací shromážděných pomocí LIDAR je obrovské, dokonce i pro vozidlo, které jede nízkou rychlostí, je potřeba použít vysokorychlostní LIDAR skener, aby se detekovaly všechny předměty na cestě. Je tedy potřeba velká zpracovatelská kapacita a vysoký přívod elektřiny, to ovšem opět zvyšuje náklady.

Pro praktičtější využití se používá složitější systém, se kterým je možné skenovat i ve více rovinách, které jsou vzájemně pootočené o malý úhel. Z takto nasbíraných dat lze sestrojit trojrozměrnou projekci celého prostoru v okolí vozidla. [47]

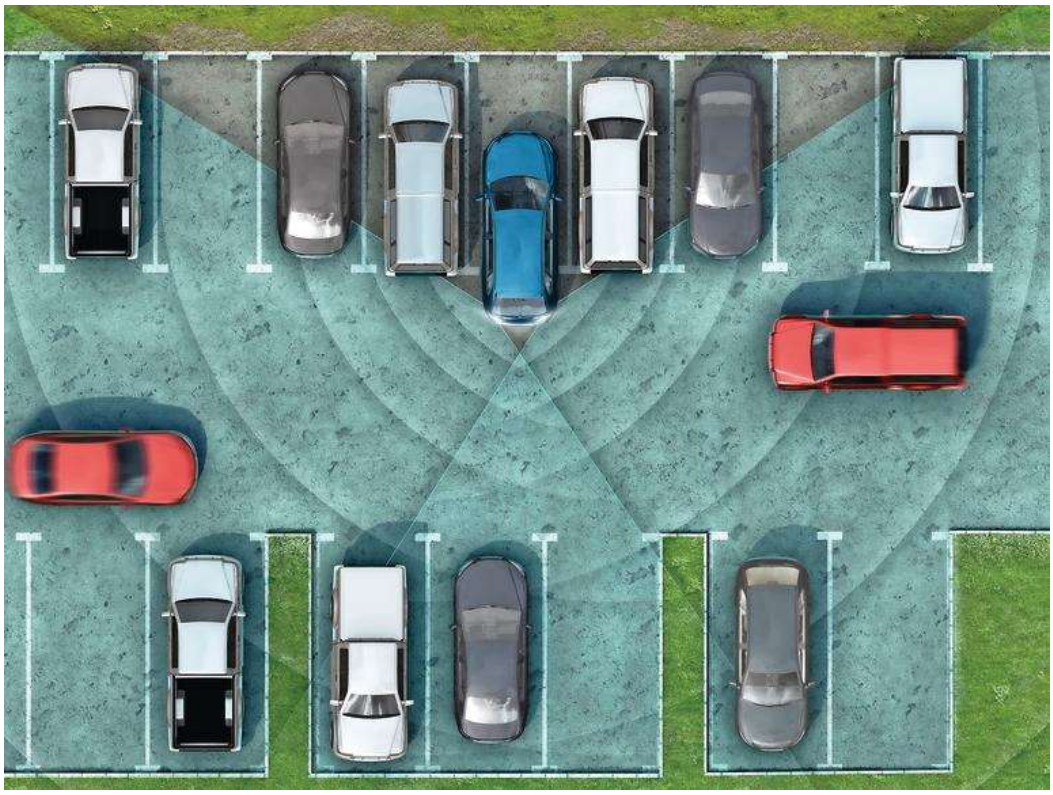
*Obrázek 14 – Příklad scény snímané pomocí LIDAR [48]*

## 3.3 Radary

Jsou již dlouhodobě velice populární senzory používané v automobilovém průmyslu. Přenášejí elektromagnetické vlny, které se odrážejí od objektů zpět ke zdroji, aby získaly směr, rychlost a polohu objektů. Jelikož známe rychlost šíření elektromagnetických vln, lze určit vzdálenost objektu a dále pomocí Dopplerova jevu můžeme určit rychlost mezi překážkou a radarem. Fungují za každého počasí, i v noci a detekují blízké i vzdálené překážky.

Obecně se používají tři druhy radarů: pro malé, střední (ty mají široký záběr = 65° až 70° a dosah 30 m) a velké vzdálenosti (ty mají rozsah 10° až 15° a dosah 120 m).

Nevýhodou je, že pokud bude objekt tvořen například odkloněnými plochami a většina energie rádiových vln se rozptýlí do okolí, pak se může i velký objekt jevit jako malý. Nevýhodou je také horší detekce malých rysů. [49]



*Obrázek 15 – Příklad scény snímané pomocí radarů [50]*

# 4 Výrobci lehkých cílů

Systémy je potřeba testovat několikrát po sobě. Je nemyslitelné používat při těchto testech reálná vozidla a živé chodce či cyklisty, proto se používají tzv. lehké cíle simulující reálné vozidlo, chodce nebo cyklistu. Při použití těchto lehkých cílů nikdo není zraněn a teoreticky nedochází k poškození testovaného vozidla.

Existuje několik firem, které se zabývají těmito lehkými cíli. Provedení lehkých cílů následujícími firmami se v mnoha ohledech liší, například počet kusů, ze kterých je lehký cíl sestaven, doba sestavení, materiály, váha nebo například i to, zda jsou stacionární, pohyblivé po platformách nebo připojitelné za tažné vozidlo.

## 4.1 AB Dynamics

Nabízí figurínu dítěte, dospělého člověka, cyklisty, motorkáře a vozidlo. Soft Car 360 od společnosti AB Dynamics se nabízí ve třech variantách. [12]

### 4.1.1 Micro

2794 mm dlouhé, 1524 mm široké, 1473 mm vysoké, 79 kg.

*Obrázek 16 – Soft Car 360 – Micro [13]*

### 4.1.2 Hatchback

4023 mm dlouhé, 1712 mm široké, 1427 mm vysoké, 108 kg.

*Obrázek 17 – Soft Car 360 – Hatchback [13]*

### 4.1.3 Sedan

4928 mm dlouhé, 1854 mm široké, 1473 mm vysoké, 118 kg.

*Obrázek 18 – Soft Car 360 – Sedan [13]*

Všechny tyto varianty mají vlastní platformu s pohonnou jednotkou a dokážou vyvinout rychlost až 80 km/h. Mohou být použity jako stacionární cíl nebo mohou být připevněny na pohyblivou platformu. Konstrukce je schopna vydržet 100 nárazů při rychlosti 45 km/h. Mohou se dokoupit i jednotlivé díly. Plné sestavení trvá čtyřem lidem přibližně 9 minut.

Pěnová struktura karoserie je se suchým zipem, potah je z fotorealistické vinylové kůže, na které je reflexní potisk karoserie a poznávací značky a dají se připojit i vizuálně realistická zrcátka. [13]

*Obrázek 19 – Skládání Soft Car 360 [13]*

## 4.2 4Active Systems

Nabízí figurínu dítěte, dospělého člověka, cyklisty, motorkáře, vozidla nebo také jelena.

### 4.2.1 Model vozidla 4acviteC2

*Obrázek 20 – 4actviveC2 [14]*

*Obrázek 21 – sestavení 4activeC2 [15]*

3850 mm dlouhé, 1620 mm široké, 1480 mm vysoké, 55 kg. Dokáže vyvinout rychlost až 80 km/h. Při nárazu do lehkého cíle rychlostí do 65 km/h je lehký cíl bez poškození. První sestavení trvá přibližně 10 minut, po testu maximálně 2 minuty.

Pěnová struktura se suchými zipy, reflexní potah, připojitelná zrcátka. Firma nabízí také další dvě varianty: SUV a malé vozidlo. [14]

## 4.3 MoshonData

Plánují nabídnout také figuríny lidí a motorek, zatím pouze části vozidel.

### 4.3.1 Stojící cíl MD-SF

Velice levné provedení, reflexní materiál.

*Obrázek 22 – Stojící pěnový cíl [16]*

*Obrázek 23 – Stojící pěnový cíl [16]*

### 4.3.2 Vozidlový cíl MD-VT F

Levné provedení, reflexní materiál.

Plně kompatibilní s Flex-Moshon tažným systémem. [16]

*Obrázek 24 – Vozidlový cíl MD-VT F [17]*

*Obrázek 25 – Vozidlový cíl MD-VT F s tažným systémem [18]*

## 4.4 Messring

Nabízí figuríny lidí a vozidel.

### 4.4.1 Vozidlový cíl NHTSA

Používá se jako stacionární cíl, ale je i kompatibilní s přípojným zařízením. [19]

*Obrázek 26 – Vozidlový cíl firmy Messring [19]*

*Obrázek 27 – Vozidlový cíl firmy Messring [19]*

## 4.5 Fakulta dopravní

Na fakultě dopravní se nachází lehký cíl, tzv. „Nafukovací auto“, které je po nafouknutí nutné posadit na pojezdy, aby se mohl cíl pohybovat po testovací dráze připojením za vozidlo pomocí tažného systému.

Váha je 50 kg bez pojezdů a doba nafouknutí je cca 50 minut.

*Obrázek 28 – „Nafukovací auto“ na fakultě dopravní*

## 4.6 Přehled lehkých cílů

Pro lepší přehled jsou důležitá data vložena do tabulky k porovnání.

| Lehký cíl | Doba prvního sestavení | Doba sestavení po testu | Váha | Typ | Konstrukce |
|---|---|---|---|---|---|
| AB Dynamics | První sestavení čtyřem lidem 10 minut | Ve většině případů se musí provést celé sestavení znovu | 79 kg až 118 kg | Pohyblivý s platformou | Celý vůz |
| 4 Active Systems | První sestavení trvá dvoum lidem 10 minut | Po zkoušce 2 minuty | 55 kg | Pohyblivý s platformou | Celý vůz |
| MoshonData | První sestavení do 5 minut | Po zkoušce do 2 minut | do 10 kg | Stacionární nebo s tažným systémem | Zadní část vozu |
| Messring | První sestavení do 5 minut | Po zkoušce do 2 minut | do 10 kg | Stacionární nebo s tažným systémem | Zadní část vozu |
| ČVUT - původní | První sestavení (nafouknutí) 50 minut | Po zkoušce případné dofouknutí | 50 kg | Pohyblivý po kolečkách pod každým kolem | Celý vůz |

*Tabulka 1 – Porovnání lehkých cílů podle výrobců*

# 5 Testování ADAS systémů

## 5.1 Testovací dráha

- Dráha musí být suchá bez viditelné vlhkosti na povrchu
- Povrch musí být rovnoměrně zpevněný a bez nepravidelností
- Sklon musí být maximálně 1%
- Brzdový koeficient musí být minimální 0,9
- Alespoň 3 m od bočních stran vozidel musí být prázdný prostor
- Značení na vozovce je povoleno, avšak nesmí být přítomno v oblasti, kde se očekává aktivace AEB (nouzový brzdový asistent)

## 5.2 Klimatické podmínky

- Teplota musí být nad 5 °C a pod 40 °C
- Nesmí pršet
- Vodorovná viditelnost musí být alespoň 1 km
- Rychlost větru nesmí přesáhnout 10 km/h
- Přirozené osvětlení musí být homogenní a musí být vyšší než 2 000 luxů
- Tyto parametry se doporučuje měřit na začátku každého testu nebo alespoň každých 30 minut:
    - Teplota okolí v °C
    - Teplota vozovky v °C
    - Rychlost a směr větru v m/s
    - Osvětlení v Lux

## 5.3 Okolí

Na dráze nesmí být žádné jiné vozy kromě lehkého cíle a testovaného vozidla, nesmí tam být dálniční infrastruktura, překážky, jiné předměty nebo osoby vyčnívající nad povrchem vozovky v boční vzdálenosti 6 m na straně řidiče a 20 m na straně spolujezdce. Mosty, portály, stropní značky nebo jiné významné stavby také nejsou povoleny.

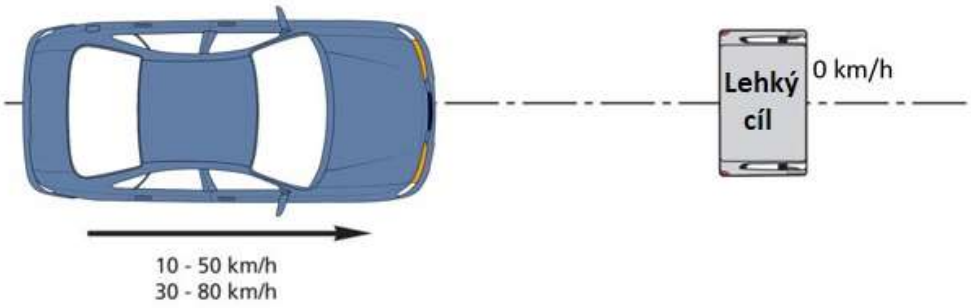
## 5.4 Druhy testů s lehkým cílem

### 5.4.1 Euro NCAP

- Rychlost vozidla i lehkého cíle: testovací rychlost ± 1,0 km/h
- Zrychlení vozidla i lehkého cíle: zrychlení ± 0,1 m/s$^2$
- Boční odchylka: 0 ± 0,01 m
- Boční rychlost: 0 ± 0,15 m/s
- Rychlost otáčení: 0 ± 1,0 °/s
- Rychlost otáčení volantu: 0 ± 15,0 °/s
- Test končí, když je rychlost testovaného vozidla 0 km/h, menší než rychlost lehkého cíle nebo došlo ke kontaktu vozidla s lehkým cílem
- Plynový pedál musí být při brzdění uvolněn a nesmí být prováděny žádné úkony na dalších ovládacích prvcích, jako jsou spojkový nebo brzdový pedál

#### 5.4.1.1 Zezadu: Auto – Auto Stojící (CCRs)

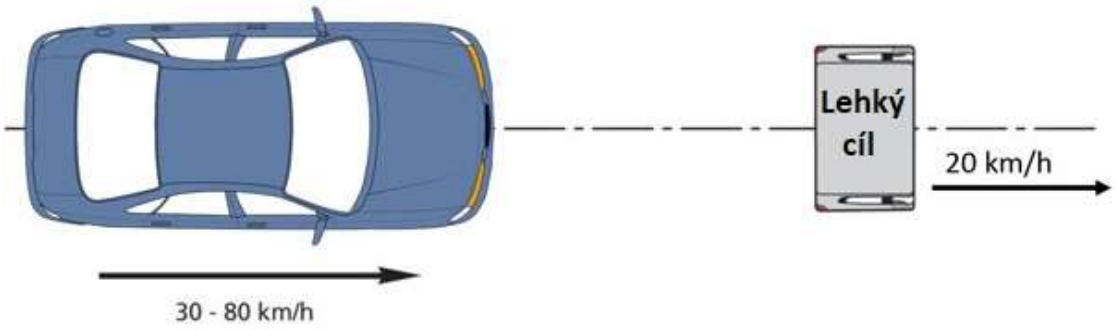
Ke stojícímu lehkému cíli se pohybuje testované vozidlo a testují se autonomní systémy nouzového brzdění (AEB). Systémy AEB City, tedy systémy pracující při nízkých rychlostech musí podstoupit pouze tento test, a to v rozmezí rychlostí 10 km/h až 50 km/h. Systémy AEB Inter-Urban, tedy systémy pracující při vyšších rychlostech musí být testovány tímto testem i následujícími dvěma testy, a to v rozmezí rychlostí 30 km/h až 80 km/h. Změna rychlosti se provádí po 5 km/h nebo po 10 km/h.




*Obrázek 29 – CCRs test dle Euro NCAP [20]*

5.4.1.2 Zezadu: Auto – Auto v pohybu (CCRm)

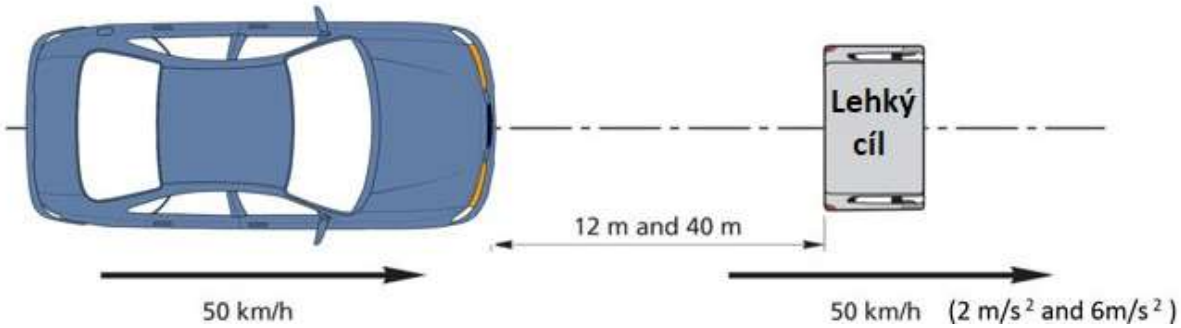
Testované vozidlo se pohybuje směrem k pohybujícímu se lehkému cíli jedoucímu konstantní rychlostí 30 km/h až 80 km/h, kde změna rychlosti probíhá po 5 km/h nebo 10 km/h a lehký cíl se pohybuje konstantní rychlostí 20 km/h.




*Obrázek 30 – CCRm test dle Euro NCAP [20]*

5.4.1.3 Zezadu: Auto – Auto brzdění (CCRb)

Testované vozidlo jede směrem k lehkému cíli, který jede konstantní rychlostí a poté začne zpomalovat. Testované vozidlo se pohybuje rychlostí 50 km/h, kde relativní vzdálenost vozidla a lehkého cíle je 12 m nebo 40 m a lehký cíl začne zpomalovat 2 m/s$^2$ nebo 6 m/s$^2$.



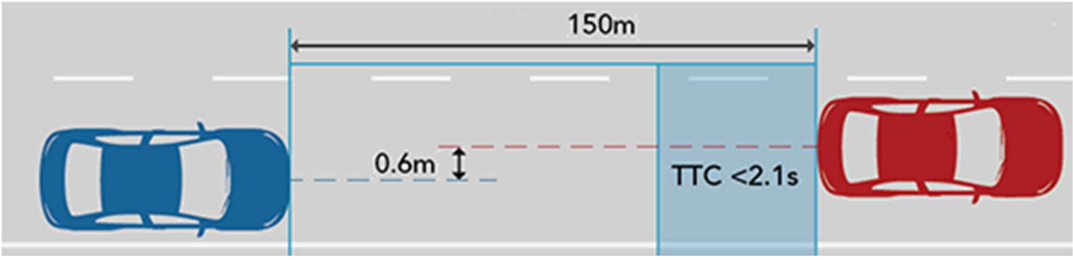

*Obrázek 31 – CCRb test dle Euro NCAP [20]*

### 5.4.2 NHTSA NCAP

- Kontrola systému varování před čelní kolizí (FCW)
- Rychlost vozidla vždy 72,4 km/ h ± 1,6 km/h
- Excentricita os testovaného vozidla a lehkého cíle musí být 0,6 m
- Rychlost otáčení: 0 ± 1,0 °/s

#### 5.4.2.1 Stojící lehký cíl

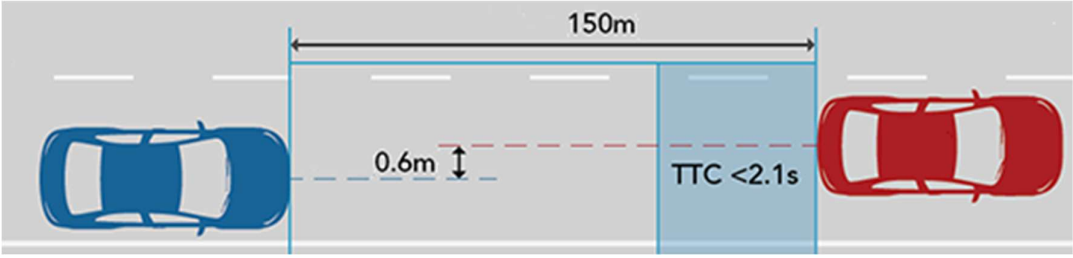
Vzdálenost testovaného vozidla od lehkého cíle je 150 m, lehký cíl se nepohybuje a systém FCW musí upozornit v čase nejméně 2,1 s (TTC) před možnou kolizí.




*Obrázek 32 – NHTSA NCAP test se stojícím lehkým cílem [20]*

#### 5.4.2.2 Zpomalující lehký cíl

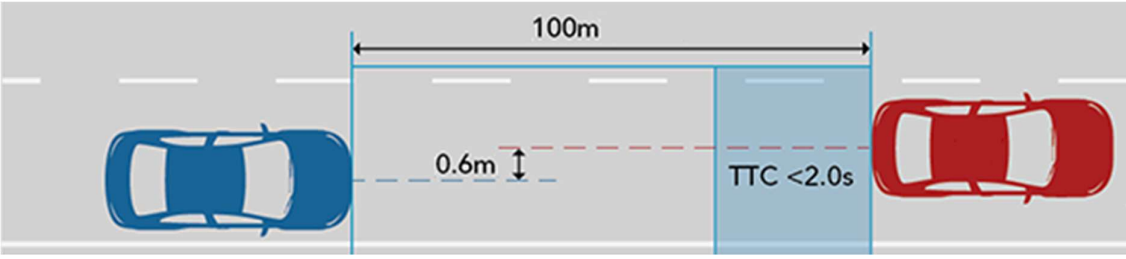
Vzdálenost testovaného vozidla a lehkého cíle je 30 m, lehký cíl se pohybuje nejprve stejnou rychlostí jako testované vozidlo, tedy 72,4 km/h, a poté se zpomalením 3 m/s$^2$ a systém FCW musí upozornit v čase nejméně 2,4 s (TTC) před možnou kolizí.




*Obrázek 33 – NHTSA NCAP test se zpomalujícím lehkým cílem [20]*

#### 5.4.2.3 Pomalu jedoucí lehký cíl

Vzdálenost testovaného vozidla a lehkého cíle je 100 m, kdy se lehký cíl pohybuje konstantní rychlostí 32 km/h a systém FCW musí upozornit v čase nejméně 2,0 s (TTC) před možnou kolizí.




*Obrázek 34 – NHTSA NCAP test s pomalu jedoucím lehkým cílem [20]*

### 5.4.3 ISO 15622 a ISO 15623

Jedná se o kontrolu systému adaptivního tempomatu (ACC) = norma ISO 15622 a varování před čelní kolizí (FCW) = norma ISO 15623. Obě normy se testují stejným způsobem, při různých rychlostech testovaného vozu i lehkého cíle.

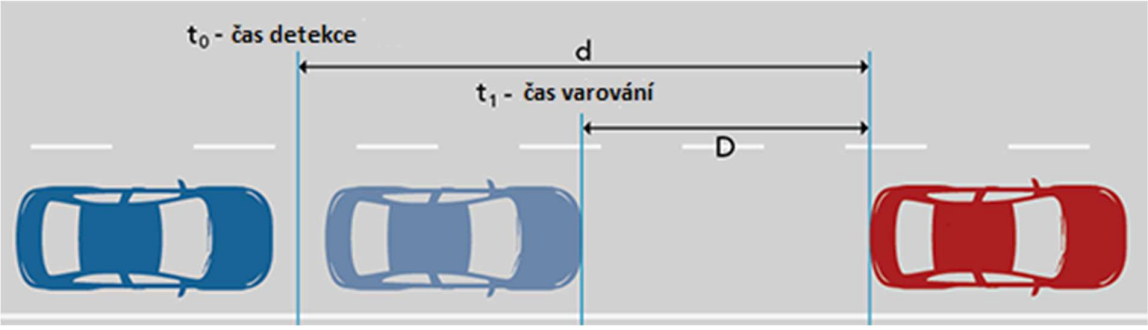
#### 5.4.3.1 Test detekční zóny

Určuje, zda systém detekuje a v případě ACC dále reaguje na blížící se lehký cíl. Vzdálenosti jsou vždy předepsané při daných rychlostech na základě výpočtů v jednotlivých systémech.

*Obrázek 35 – Scénář testu detekční zóny [20]*

#### 5.4.3.2 Test přesnosti detekční vzdálenosti

Určuje, zda systémy reagují ve vzdálenosti, kterou výrobce uvádí. Testované vozidlo se pohybuje maximální rychlostí, při které jsou systémy schopny pracovat. Výstražná vzdálenost se měří při minimální detekované vzdálenosti ($t_0$) a při vydání výstrahy ($t_1$). Vzdálenost D, ve které došlo k signálu se poté porovná se specifikací od výrobce.

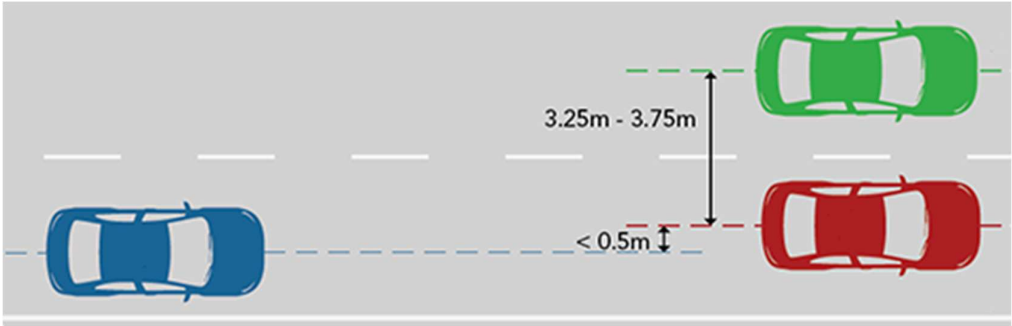



*Obrázek 36 – Scénář testu přesnosti detekční vzdálenosti [20]*

#### 5.4.3.3 Test cílového bočního rozlišení

Zahrnuje dva a více lehkých cílů při maximální rychlosti, při které jsou systémy schopny operovat. Vzdálenost mezi podélnými osami lehkých cílů je 3,5 m ± 0,25 m, šířky lehkých cílů jsou 1,4 m až 2 m. Dále musí být osová vzdálenost testovaného vozidla oproti detekovanému lehkému cíli maximálně 0,5 m.

Nejprve zpomalí zelený lehký cíl, a poté zpomalí červený lehký cíl (detekční = cílový), dokud nebude v dosahu detekce testovaného vozidla. Pokud testované vozidlo reaguje pouze na červený lehký cíl, nikoliv na zelený, je test úspěšný. [20]




*Obrázek 37 – Scénář testu cílového bočního rozlišení [20]*

# 6 Konstrukce lehkého cíle

Při návrhu je potřeba zohlednit použití materiálů a zároveň možnost usazení celé konstrukce na již zhotovenou platformu. Dále je třeba zohlednit i další kritéria stanovená zadáním, jako je například váha konstrukce do 100 kg a také samozřejmě cena. Celá konstrukce musí být potažena plachtou z odrazivého materiálu, aby bylo zajištěno, že všechny potřebné senzory testovaného vozidla zachytí lehký cíl jako reálnou překážku.

## 6.1 Lehké konstrukční materiály

Soustředění na materiály, které by bylo potenciálně možné použít na konstrukci lehkého cíle pro testování ADAS systémů**.** Na tyto materiály jsou kladeny požadavky, jako je dostatečná pevnost (mez kluzu materiálu), ale zároveň menší tuhost (modul pružnosti)**.** V ideálním případě nesmí dojít k žádnému poškození testovaného vozidla a zároveň musí být při nárazu zabezpečena dostatečná tuhost lehkého cíle.

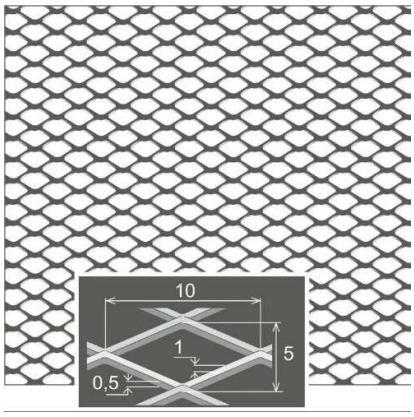
Níže provedu výpis pouze čistých materiálů. Jejich další slitiny získané smícháním dalších prvků zmíněné nebudou.

### 6.1.1 Lehké kovy

Myšlenka použití lehkých kovů se nesoustředí pouze na lehké neželezné kovy, jejichž charakteristikou je hustota pod 5 000 kg/m$^3$, ale celkově na lehké kovy.

#### 6.1.1.1 Hliník

Nejhojněji vyskytující se kov v zemské kůře a zároveň nejméně vyskytující se prvek v živých organismech. Základní surovina pro výrobu hliníku je bauxit, který obsahuje řadu minerálů bohatých na hliník. V přírodě se ryzí hliník nevyskytuje. Kov s poměrně nízkou pevností, dobrou tepelnou a elektrickou vodivostí, nízkou hustotou a dobrou odolností proti korozi. Nejběžnější použití ve formě alobalu, příborů, mincí, tenkých hliníkových profilů, elektrických drátů, hliníkových plechů (perforovaných) atd.




*Obrázek 38 – Perforovaný hliníkový plech [22]*

#### 6.1.1.2 Olovo

Historicky nejstarší lidmi vyráběný kov. V přírodě se ryzí olovo nachází jen vzácně. Nejdůležitějším zdrojem olova jsou olověné rudy, jako například galenit, cerusit, anglesit a další. Olovo je měkké a velmi tvárné, měkčí a tvárnější než hliník a má dobrou korozivzdornost.

Oxid olovnatý, který vzniká na povrchu, je velmi jedovatý, a to je jeden z hlavních důvodů, proč ztrácí význam i v oblastech, se kterými je spjatý dlouhá desetiletí a staletí (střelivo, liteřina, korozivzdorné nátěry, …), avšak stále se používá pro výrobu olověných akumulátorů a štítů proti rentgenu.

*Obrázek 39 – Olověný plech, tloušťka 0,5 mm [23]*

#### 6.1.1.3 Cín

Kov používán již 3 500 let před naším letopočtem. V přírodě se vyskytuje asi ve stovce nerostů, nejdůležitější z nich je cínovec. Je tvárný a trochu tvrdší než olovo s vysokou odolností proti korozi. Lze ho velice dobře válcovat. Ve středověku byl používán pro výrobu nádobí, v současnosti se asi polovina produkce používá pro povrchovou úpravu kovů = pocínování. Je zdravotně nezávadný. [21]

*Obrázek 40 – Cívka cínového plechu pro výrobu plechovek [24]*

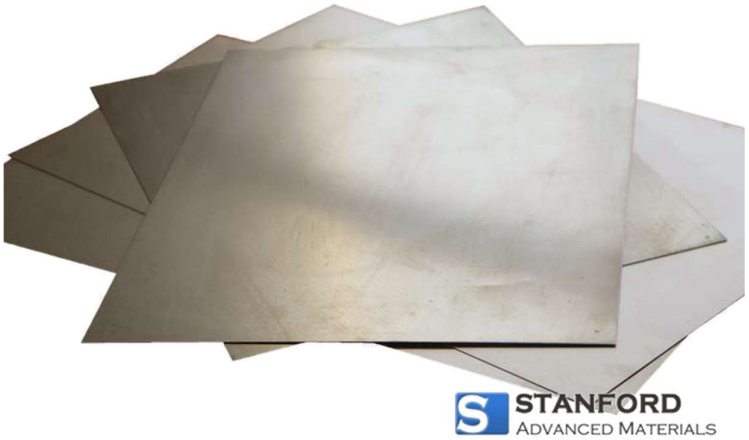
#### 6.1.1.4 Hořčík

Objeven počátkem 19. století. V přírodě se jako elementární prvek nevyskytuje. Minerály hořčíku jsou velmi rozšířené, šestý nejrozšířenější prvek. Nejdůležitějšími minerály jsou magnezit, dolomit, periklas (největší obsah hořčíku) a další. Disponuje dobrou tažností a je středně tvrdý. V minulosti se práškový hořčík používal jako zdroj intenzivního světla pro fotografické blesky. V současnosti například k výrobě nástavců plynových hořáků. [25]

*Obrázek 41 – Hořčíkový plech tloušťky 0,4 mm [26]*

#### 6.1.1.5 Zirkonium

Minerály zirkonia jsou známé již od starověku, jako prvek byl objeven roku 1789, kovové zirkonium bylo získáno až v roce 1824. V přírodě se nachází vždy v doprovodu hafnia v různých minerálech rozptýlených po celém zemském povrchu. Nejdůležitějšími nerosty jsou zirkon a baddeleyit (největší obsah zirkonia). Výraznou vlastností je velká odolnost proti chemikáliím, je křehký, pevností a tuhostí velmi podobný hliníku. Používá se například při konstrukci jaderných reaktorů nebo jako antikorozní ochrana v chemickém průmyslu. [27]




*Obrázek 42 – Zirkoniový plech tloušťky 0,5 mm [28]*

### 6.1.2 Dřevo

Organický, nehomogenní, anizotropní (závislé na směru měření nebo používání) a hygroskopický (udržující vlhkost) materiál. Většina jehličnatých stromů je charakterizována jako měkké dřeviny (smrk, jedle, borovice). Z listnatých stromů je to lípa a topol. Dále například jedlové dřevo, které je ohebné, pružné, nosné a měkké. Jehličnaté dřeviny jsou však náchylné na červotoče a hnilobu. Dřevo není nejlepší volbou mimo jiné i kvůli odlesňování.

Mechanické vlastnosti závisí na několika činitelích:

- Konstrukční rozměr – větší rozměry = horší mechanické vlastnosti
- Objemová hmotnost – větší objemová hmotnost = lepší mechanické vlastnosti
- Vlhkost dřeva – vyšší vlhkost = horší mechanické vlastnosti
- Vady dřeva
- Rychlost zatěžování
- Doba trvání zatížení [29]

*Obrázek 43 – Dřevěná překližka [52]*

### 6.1.3 Sendvič (laminát)

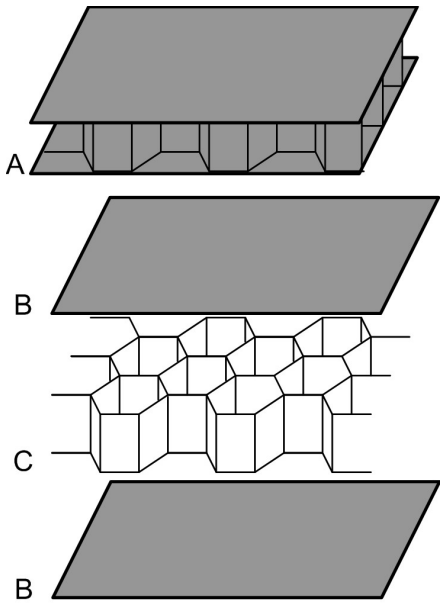
Vrstvený kompozit ze dvou nebo více materiálů. Na jádro se používají strukturované pěny (polyuretan), polystyrenové pěny, balsové dřevo, papírové, plastové nebo hliníkové voštiny. Na plášť se používají materiály na bázi dřeva, lamináty vyztužené skleněnými nebo uhlíkovými vlákny, hliníkové nebo plastové pláty. [30]

*Obrázek 44 – Sendvičová deska s pěnovým jádrem [31]*

A – sendvičový panel

B – vnější vrstvy

C – voštinové jádro




*Obrázek 45 – Sendvič s voštinovým jádrem [32]*

### 6.1.4 Plasty

Materiály, jejichž základní složkou jsou polymery = látka sestávající se z molekul jednoho nebo více druhů či skupin atomů spojených navzájem ve velkém počtu. Řetězová struktura (dlouhá lineární řada navzájem spojených atomů nebo skupin atomů) odlišuje polymery od ostatních látek. Počátek jejich průmyslové výroby sahá do období po I. světové válce. Mají menší pevnost v tahu než kovy, ale větší tepelnou roztažnost. Vlastnosti lze měnit příměsemi: plnivo, barvivo, stabilizátory, nadouvadla.

Výroba plastů:

- Polymerace = spojení monomerů (zrušení dvojné vazby)
- Polyadice = lineární nebo prostorově zesíťované makromolekuly
- Polykondenzace = rozdělení nízkomolekulární látky na makromolekuly
- Smíšené polyreakce = zesíťovaný polymer, který vznikl reakcí mezi monomery (3 nebo více vazebných míst)

#### 6.1.4.1 Termoplasty

a) Polyetylen

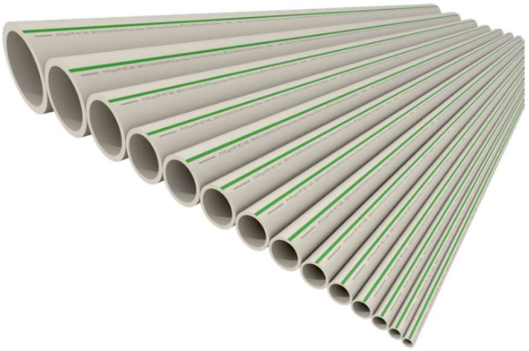
Obecně je použitelný do 80 °C. Jedná se o nejpoužívanější polymer na světě. Používá se na kanystry, hadice, láhve, hračky, obalové folie a další. Vyrábí se i v pěnové formě (mirelon = potrubní izolační pouzdro).

*Obrázek 46 – Polyetylenové trubky [33]*

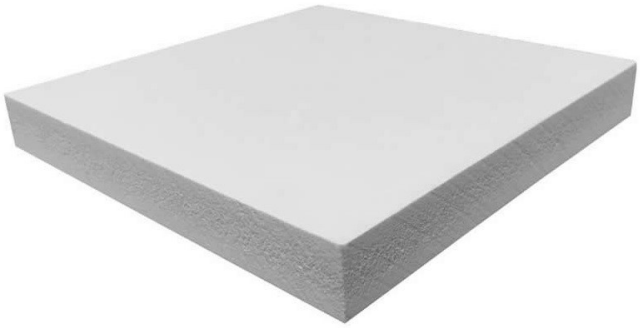
*Obrázek 47 – Izolační trubice z pěnového polyetylenu = MIRELON [34]*

b) Polypropylen

Podobné fyzikálně-chemické vlastnosti jako polyetylen. Používá se například pro výrobu lan (lehká = plavou na hladině), vodovodních trubek nebo na speciální typ desky = FOAMLITE.



*Obrázek 48 – PPR trubky [35]*



*Obrázek 49 - Lehká konstrukční deska z materiálu FOAMLITE [36]*

c) Polyvinylchlorid

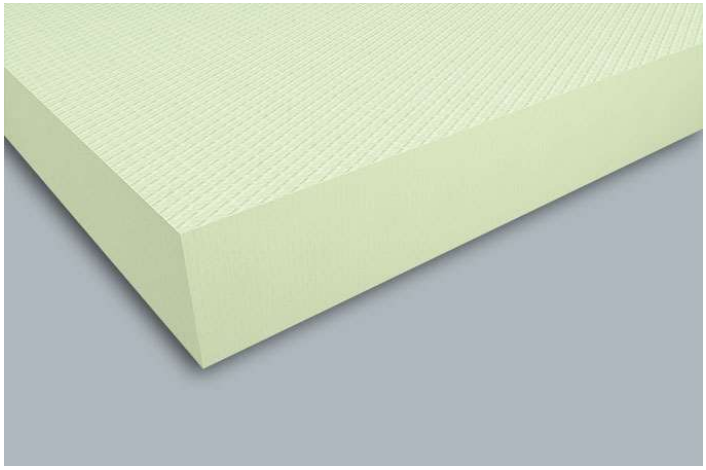
Je třetí nejpoužívanější plast. Od většiny plastů se liší obsahem chloru. Neměkčený PVC se používá pro výrobu armatur, potrubí apod.

*Obrázek 50 – PVC trubky [37]*

d) Polystyren

Je známý především jako pěnový tepelně izolační polymerní materiál bílé barvy o nízké hustotě. V nelehčené formě je poměrně tvrdý, ale křehký. Odolává kyselinám a zásadám. Při stárnutí křehne a vytvářejí se v něm trhliny. STYROPOR = pěnový s uzavřenými buňkami (kuličkami), STYRODUR = extrudovaný bez kuliček (tuhá pěna).

*Obrázek 51 – Polystyren (STYROPOR) [38]*



*Obrázek 52 – Polystyren (STYRODUR) [39]*

#### 6.1.4.2 Reaktoplasty

a) Polyuretan

Je otěruvzdorný, tuhý až kaučukovitý plast. Měkčený (MOLITAN) se používá jako materiál v čalounictví, oděvním průmyslu apod. Pěnový se v tuhé formě užívá jako výplňová hmota pro tepelné a zvukové izolace.

*Obrázek 53 - Polyuretanová izolační deska [40]*

*Obrázek 54 – Pěnový polyuretan [41]*

### 6.1.5 Pryž

Získává se vulkanizací z přírodního nebo syntetického kaučuku. Nejdůležitějšími vlastnostmi jsou pružnost, pevnost a odolnost vůči kyselinám. Nevýhodou je malá odolnost vůči benzínu a olejům, a také závislost na teplotě. Použití je velmi rozsáhlé v automobilovém a leteckém průmyslu, dále se používá při výrobě kabelů, hadic, hraček, obuvi nebo na součásti proti chvění.

*Obrázek 55 – Mikroporézní pryžová deska [42]*

### 6.1.6 Korek

Získává se loupáním kůry rostoucích korkových dubů. Je dobrý izolant, jak tepelný, tak i zvukový. Je pružný, mechanicky poměrně odolný a chemicky stálý. Používá se na výrobu zátek, podložek, těsnicích spojek a korková drť se používá na výrobu podlahových krytin a izolačních desek. [21]

*Obrázek 56 – Technická korková deska tloušťka 60 mm [43]*

Po rešerši materiálů jsem se rozhodl celou konstrukci zhotovit z PPR trubek, které budou spojeny PPR tvarovkami. Konstrukce bude dále na kritických místech potažena izolačními trubicemi z pěnového polyetylenu. PPR trubky a jejich tvarovky zajistí malou hmotnost, dostatečnou pevnost a malou tuhost. Jejich spojení je velice jednoduché, trvalé a pevné. Dále prostory mezi jednotlivými trubkami budou vyplněny deskami z polystyrenu, abych zajistil lepší pevnost při zachování nízké tuhosti. Polystyrenové desky budou v konstrukci upevněny na trvalo pomocí lepidla. Také je nutné zajistit možnost rozložitelnosti konstrukce a její následnou přepravu bez použití těžké techniky. Konstrukce musí být rozložitelná pouze lidskou silou a musí být lehce přepravitelná obyčejným vozidlem s připojeným vozíkem či pickupem. To zajistím použitím neodymových magnetů, které budou na konkrétních místech usazeny do konstrukce, což zajistí rozložitelnost na dostatečně malé části pro převoz.

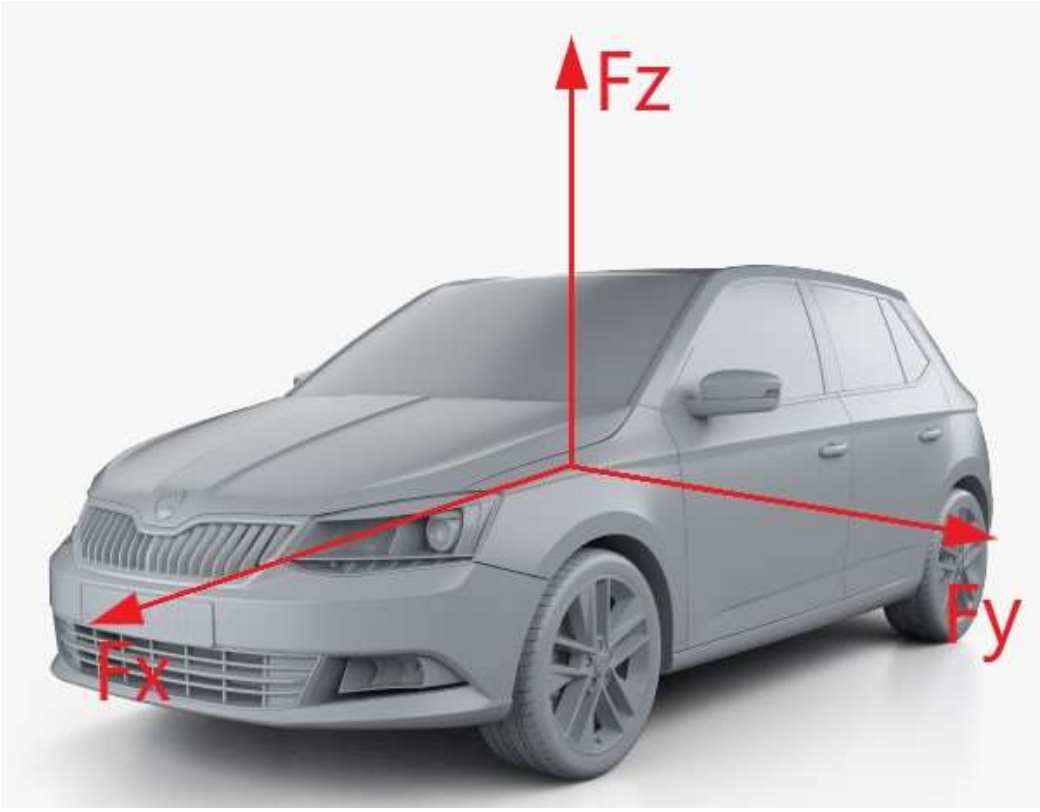
## 6.2 Zatížení konstrukce

Z hlediska zatížení bude pro daný návrh konstrukce lehkého cíle důležitá optimalizace konstrukce na základě působení aerodynamických sil, kdy bude potřeba konstrukci navrhnout tak, aby se při působení aerodynamických sil při maximální rychlosti do 100 km/h nerozpadla nebo nepřípustně zdeformovala.

### 6.2.1 Soustava aerodynamických sil

V podmínkách působení bočního větru jsou účinky proudu vzduchu na automobil závislé na rychlosti relativního proudu vzduchu. Rychlost proudu vzduchu je definována jako vektorový součet rychlosti vozidla (vzaté v opačném směru) a rychlosti větru. V případě aerodynamiky vozidel nahrazujeme obecnou soustavu aerodynamických sil soustavou aerodynamických komponentů: aerodynamický odpor, vztlak a boční síla.

Celková aerodynamická síla má obecný směr a velikost, a proto je nutné přepočítání sil pomocí aerodynamických koeficientů.




*Obrázek 57 – Aerodyn. síly na pohybující se předmět v proudu vzduchu*

### 6.2.2 Aerodynamické síly

Velikost aerodynamické síly je obecně úměrná druhé mocnině rychlosti relativního proudu vzduchu, ploše vystavené tomuto proudu a bezrozměrnému součiniteli závislému na tvaru karoserie. [55]

Aerodynamický odpor:

$$F_X = -\frac{1}{2} * C_X * \rho * V_\infty^2 * A \tag{7.1}$$

Aerodynamický vztlak:

$$F_Z = \frac{1}{2} * C_Z * \rho * V_\infty^2 * A \tag{7.2}$$

Aerodynamická boční síla:

$$F_Y = \frac{1}{2} * C_Y * \rho * V_\infty^2 * A \tag{7.3}$$

| | | |
|---|---|---|
| Kde: | $C_X$ | aerodynamický součinitel odporu |
| | $C_Y$ | aerodynamický součinitel boční síly |
| | $C_Z$ | aerodynamický součinitel vztlaku |
| | $\rho$ | měrná hustota vzduchu |
| | $V_\infty$ | rychlost relativního proudu vzduchu |
| | A | průřez čelní plochy |

### 6.2.3 Volba aerodynamických koeficientů

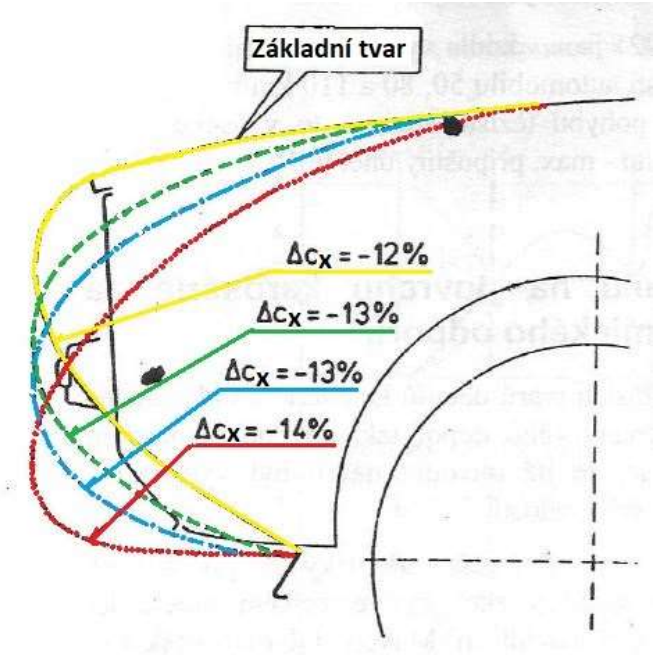
Hodnoty aerodynamických součinitelů jsou ovlivněny mnoha faktory, jako je velikost a tvar povrchu, tření povrchu, odtržení mezní vrstvy (Reynoldsovo číslo) a dalšími. Jejich velikost je dána základní hodnotou danou základním tvarem karosérie a grafy ovlivňujících faktorů, které po zohlednění úpravy tvaru karosérie nebo přidáním aerodynamických prvků dávají konečnou hodnotu součinitelů.

#### 6.2.3.1 Aerodynamický součinitel odporu

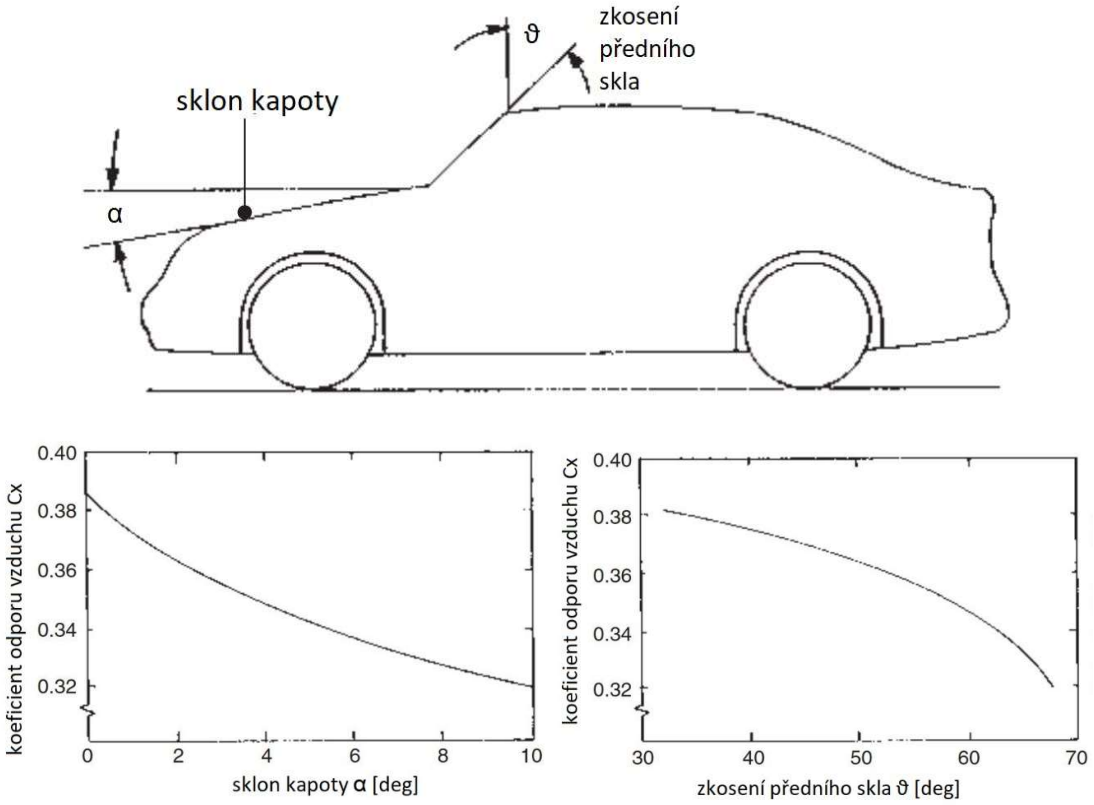
Je závislý například na sklonu kapoty, tvaru přední části karosérie, tvaru střechy, zkosení bočního panelu, úhlu difuzoru a dalších.

| | Profil | Grafické znázornění profilu | $C_x$ |
|---|---|---|---|
| 1 | Talířová plocha | | 1,17 |
| 2 | Válec, L/D<1 | D, L | 1,15 |
| 3 | Válec, L/D>2 | D, L | 0,82 |
| 4 | Kapkovitý tvar | | 0,04 |
| 5 | Poloviční kapkovitý tvar umístěný blízko povrchu | | 0,15 |
| 6 | Osobní automobil | | 0,43 |
| 7 | Závodní prototyp | | 0,75 |

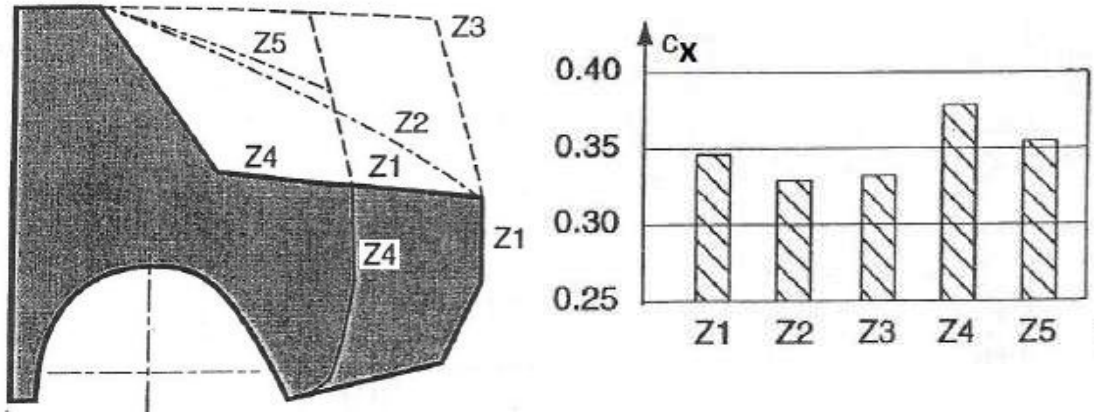
*Tabulka 2 – Hodnoty aerodyn. souč. odporu základního tvaru karoserie [57]*




*Obrázek 58 – Vliv tvaru přední masky vozu na velikost aerodyn. souč. odporu [55]*




*Obrázek 59 – Vliv sklonu kapoty a čelního skla na velikost aerodyn. souč. odporu [60]*




*Obrázek 60 – Vliv tvaru zadní části karosérie na aerodyn. souč. odporu [55]*

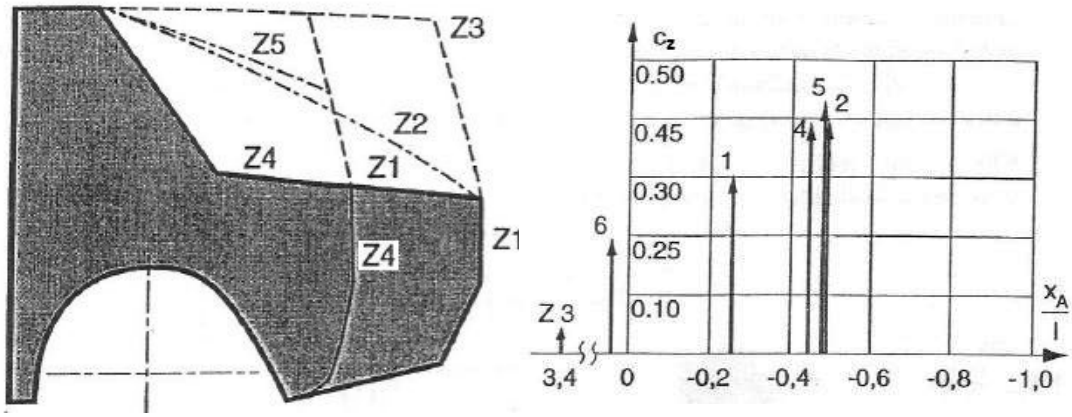
Z daných obrázků je patrné, že některé úpravy konstrukce výrazně ovlivňují součinitele aerodynamického odporu, a proto je důležité je zahrnout při určování konečného součinitele.

6.2.3.2 Aerodynamický součinitel vztlaku

Je závislý například na tvaru přední části karosérie, tvaru zadní části karosérie, vzdálenosti automobilu od vozovky a dalších.

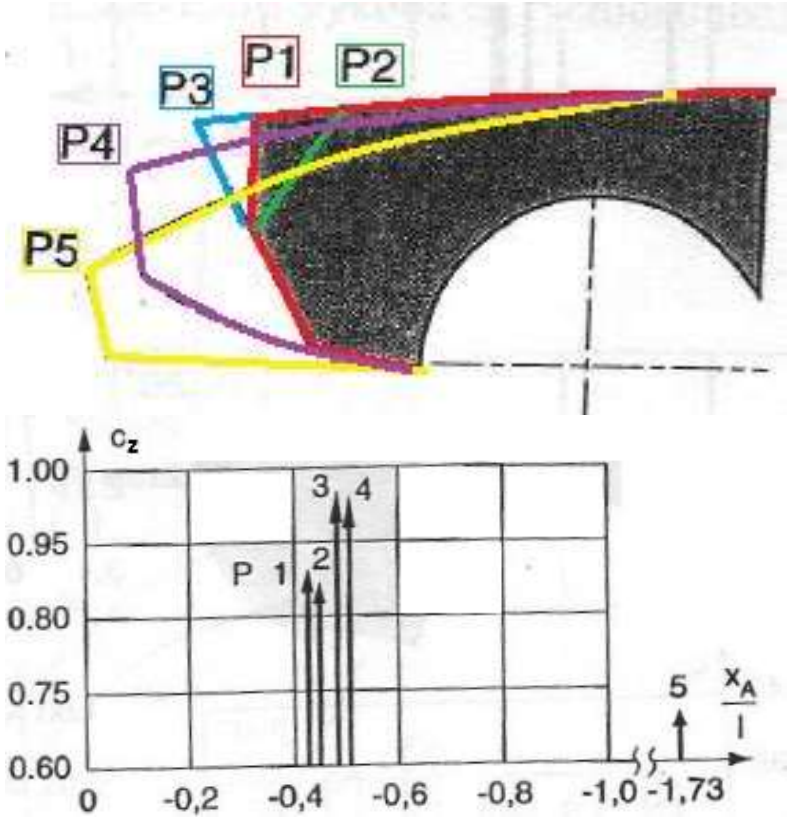
| | Profil | Grafické znázornění profilu | $c_z$ |
|---|---|---|---|
| 1 | Talířová plocha | | 0 |
| 2 | Válec, L/D<1 | D, L | 0 |
| 3 | Válec, L/D>2 | D, L | 0 |
| 4 | Kapkovitý tvar | | 0 |
| 5 | Poloviční kapkovitý tvar umístěný blízko povrchu | | 0,18 |
| 6 | Osobní automobil | | 0,32 |
| 7 | Závodní prototyp | | -3,00 |

*Tabulka 3 – Hodnoty aerodyn. souč. vztlaku základního tvaru karosérie [57]*

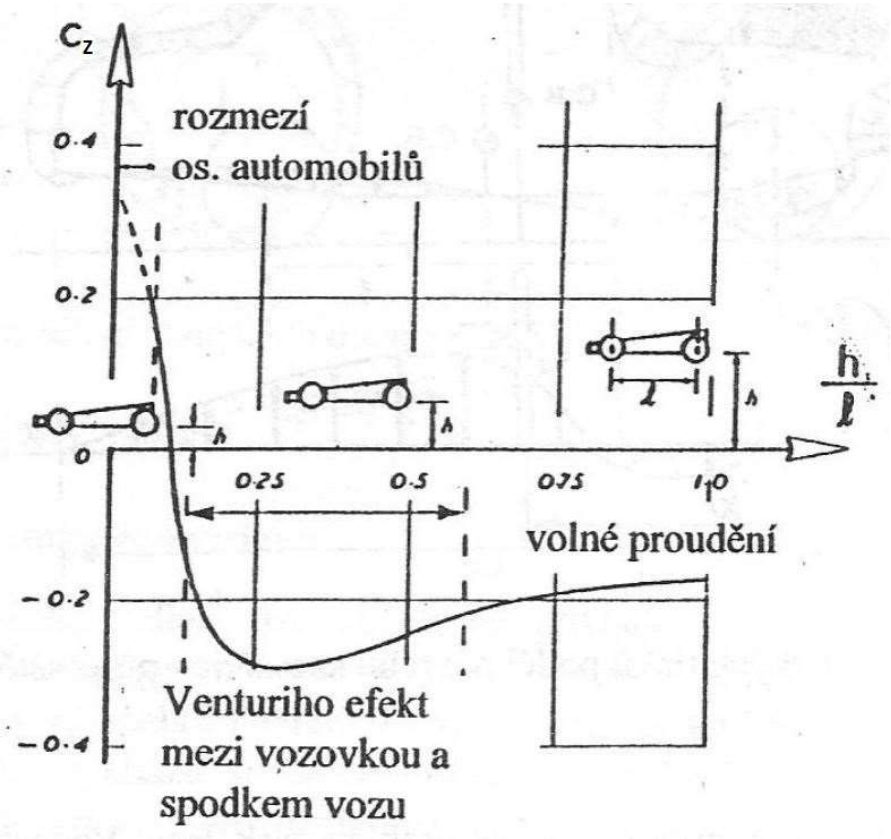



*Obrázek 61 – Vliv tvaru zadní části karosérie na aerodyn. souč. vztlaku [55]*

Kde $\frac{x_A}{l}$ je poloha působiště vztlakové síly vůči rozvoru vozidla.



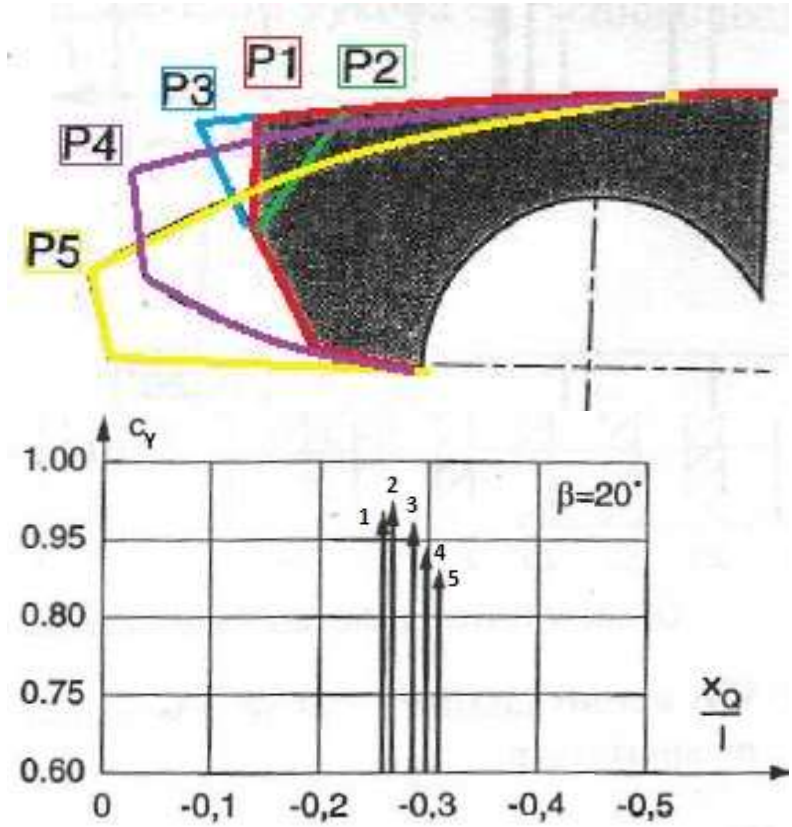

*Obrázek 62 – Vliv tvaru přední části karosérie na aerodyn. souč. vztlaku [55]*



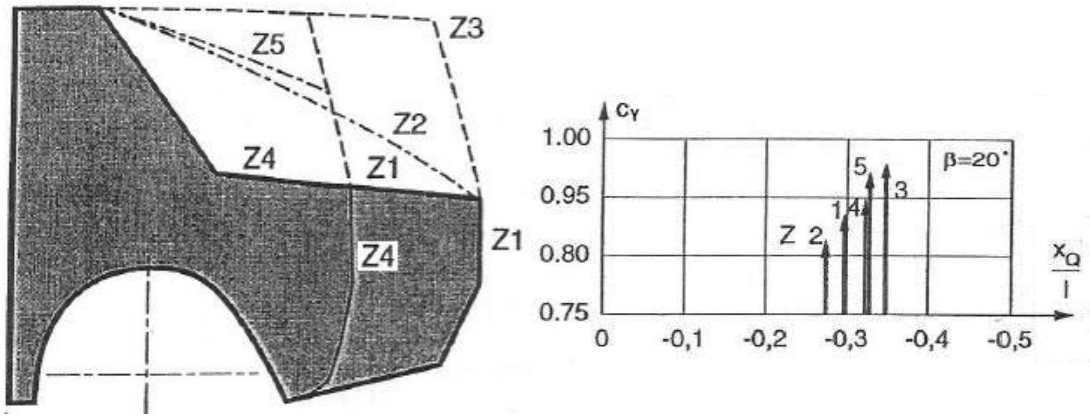

*Obrázek 63 – Závislost aerodyn. souč. vztlaku na vzdálenosti automobilu od vozovky [55]*

6.2.3.3 Aerodynamický součinitel boční síly

Je závislý například na tvaru přední části karosérie, tvaru zadní části karosérie a dalších.




*Obrázek 64 – Vliv tvaru přední části karosérie na aerodyn. souč. boční síly [55]*

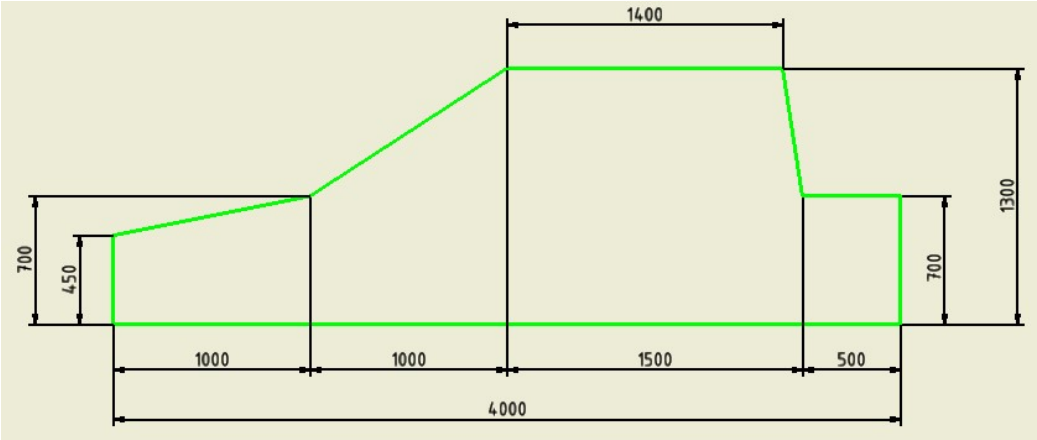



*Obrázek 65 – Vliv tvaru zádní části karosérie na aerodyn. souč. boční síly [55]*

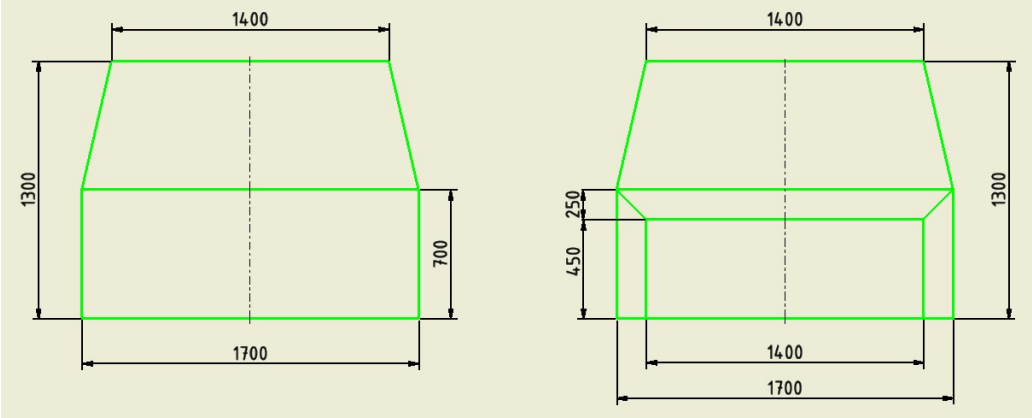
Kde $\frac{x_Q}{l}$ je poloha působiště boční síly vůči rozvoru vozidla a β je úhel vybočení relativního proudu vzduchu.

## 6.3 Koncepční návrh

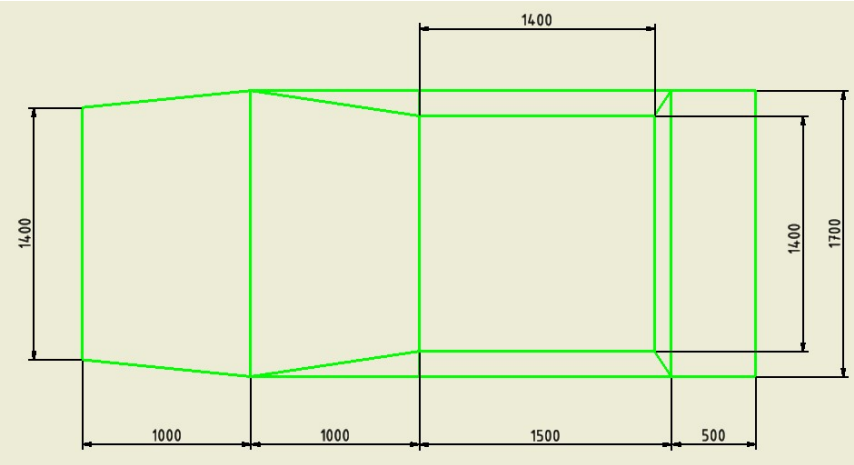
Jelikož už vím, z jaké kombinace materiálů budu konstrukci navrhovat, je důležité udělat si předběžnou představu o tvaru a podobě konstrukce. Protože se jedná o PPR trubky, představa o podobě konstrukce není nijak složitá.




*Obrázek 66 – Boční pohled konstrukce*




*Obrázek 67 – Zadní a přední pohled konstrukce*




*Obrázek 68 – Horní pohled konstrukce*

## 6.4 Použité materiály

Možností, které materiály nebo jejich kombinace použít, je mnoho. Například kombinace perforovaných hliníkových plechů a mezi nimi například molitan nebo použití pouze polystyrenových desek, jako je tomu v případě lehkých cílů od AB Dynamics, dále možnost použití pryžových desek a podobně.

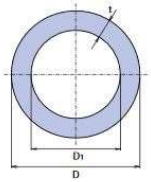
Rozhodl jsem se použít PPR trubky a PPR tvarovky, což jsou trubky a tvarovky z plastu, konkrétně z polypropylenu. Jedná se o trubky používané nejčastěji pro rozvody teplé a studené vody. Jelikož jsem v minulosti s těmito trubkami pracoval, znám jejich vlastnosti a jejich použití vystihuje požadavky na konstrukci lehkého cíle. Portfolio PPR trubek je velké a tím pádem mám i velké množství možností, jaké konkrétní trubky použiji.

Použité tvarovky se z části dají nakoupit, avšak většina tvarovek není normalizovaná a je potřeba je nechat vyrobit, například pomocí 3D tisku, který je vcelku rychlý a levný.

Zvolil jsem PPR trubky od firmy WAVIN o vnějším průměru Ø 40 mm a tloušťce stěny 5,5 mm a k nim odpovídající tvarovky. Z obrázku níže je vidět, že trubky se dodávají v délce maximálně 4 m, což je pro konstrukci naprosto dostačující. Jedná se o trubky pro rozvod i teplé vody a jejich použití je do 90 °C. Od výrobce jsou předepsány maximální vzdálenosti podpor při montáži na 1 500 mm, tohoto předpisu se budu držet i při konstrukci.

Tvarovky musí být vybrány podle zvolených trubek. Jelikož pro konstrukci budu muset použít i nestandardizované tvarovky, které se mohou vyrábět například pomocí 3D tisku, musím tyto tvarovky také navrhnout a podpořit výrobním výkresem.

Dále použiji izolační trubice z pěnového polyetylenu, a to z důvodu zvýšení ochrany testovaného vozidla při případném nárazu do lehkého cíle. Tyto trubice použiji pouze na kritická místa. Trubice musí být opět vybrány podle PPR trubek, které byly zvoleny na začátku.

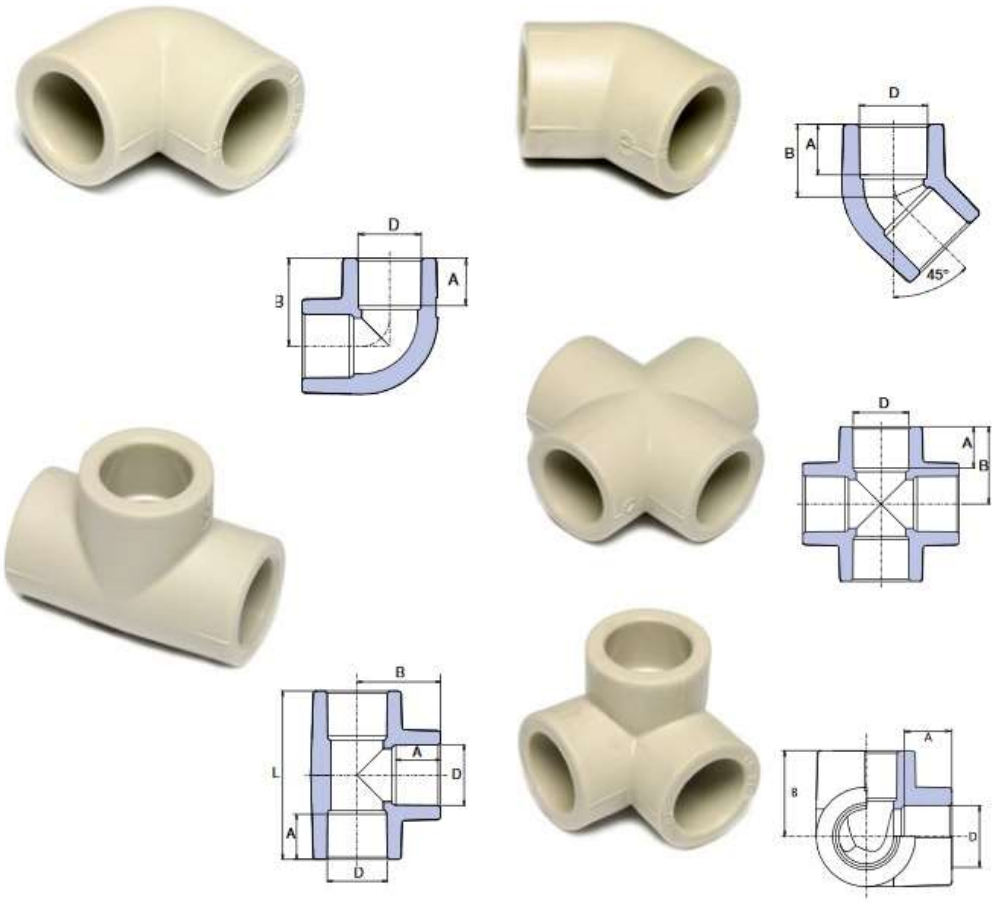



**Trubka Ekoplastik STABI PLUS 16-63 mm**
**S 3,2 / SDR 7,4 / PN 28 (výpočet)**
**Trubka Ekoplastik STABI PLUS 75-110 mm**
**S 4 / SDR 9 / PN 22 (výpočet)**

| D | De | D1 | t | l | | | KOD |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mm | mm | mm | mm | mm | m | kg/m | |
| 16 | 17,9 | 11,4 | 2,2 | 4000 | 120 | 0,137 | STRS016RCT |
| 20 | 21,9 | 14,4 | 2,8 | 4000 | 80 | 0,207 | STRS020RCT |
| 25 | 26,9 | 18,0 | 3,5 | 4000 | 60 | 0,298 | STRS025RCT |
| 32 | 33,9 | 23,2 | 4,4 | 4000 | 40 | 0,465 | STRS032RCT |
| 40 | 41,9 | 29,0 | 5,5 | 4000 | 20 | 0,692 | STRS040RCT |
| 50 | 52,0 | 36,2 | 6,9 | 4000 | 16 | 1,046 | STRS050RCT |
| 63 | 65,0 | 45,8 | 8,6 | 4000 | 8 | 1,587 | STRS063RCT |
| 75 | 77,0 | 58,2 | 8,4 | 4000 | 8 | 1,860 | STRS075RCT |
| 90 | 92,0 | 69,8 | 10,1 | 4000 | 4 | 2,673 | STRS090RCT |
| 110 | 112,0 | 85,4 | 12,3 | 4000 | 4 | 4,022 | STRS110RCT |

Trubky STABI PLUS jsou dle tloušťky stěny označeny třídou „S“.

*Obrázek 69 – Použité PPR trubky firmy WAVIN [58]*

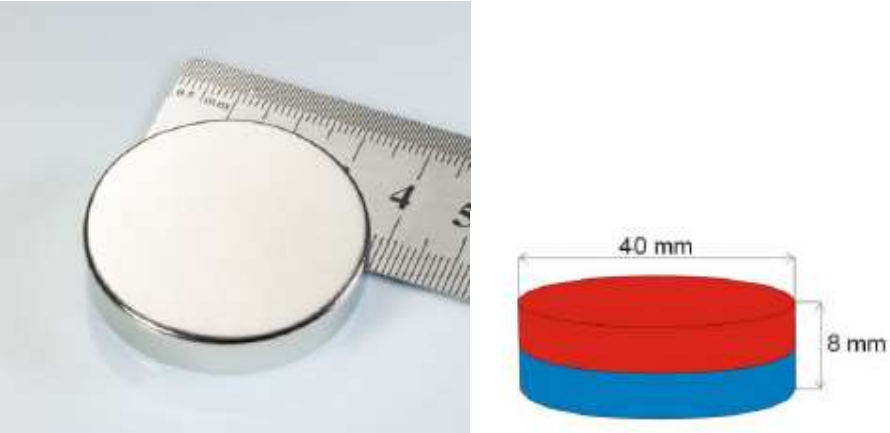



*Obrázek 70 – Použité PPR tvarovky firmy WAVIN [58]*

*Obrázek 71 – Izolační trubice z pěnového polyetylenu firmy Mirel [34]*

Pro možnost rozložení celé konstrukce na části, které půjdou lehce převážet, budou použity neodymové magnety. Konkrétně použiji magnety od výrobce MAGSY o průměru Ø 40 mm a výšce 8 mm. Pro tyto magnety je odtrhová síla dána výrobcem 210 N, přibližně 21 kg na jeden magnet.

Samotná hmotnost magnetu je 75 g. Jedná se o poniklovaný magnet a vždy budou použity dva magnety spojené k sobě, aby byla zajištěna větší magnetická síla.




*Obrázek 72 – Neodymový magnet výrobce MAGSY [44]*

Celá konstrukce je nakonec potažena plachtou z odrazivého materiálu nebo standardní plachtou se slabým filmem z odrazivého materiálu.

## 6.5 Zatížení konstrukce

Kvůli nízké hmotnosti se zatížení lehkého cíle zredukovalo pouze na aerodynamický odpor a jeho složky. Toto zatížení bylo použito pro kontrolu konstrukce.

Usazení celé konstrukce bude provedeno na již existující platformu. Bylo nutné ze specifikace a frekvenčních výpočtů dané platformy získat vlastní frekvence a následně tyto frekvence porovnat s vlastními frekvencemi navržené konstrukce. Tyto frekvence se nesměly za žádných okolností rovnat nebo se sobě přiblížit.

Když znám podobu konstrukce, můžu zjistit zatížení, které na danou konstrukci bude působit. Jak bylo zmíněno, budu se věnovat aerodynamickému zatížení z důvodu malé hmotnosti konstrukce. Pro tyto výpočty je zapotřebí použít aerodynamické součinitele, které je potřeba zvolit podle úprav konstrukce. Také je důležité znát, jak se bude konstrukce pohybovat, k tomu je nutné stanovit na jakou platformu se konstrukce usadí. Zvolil jsem platformu navrhnutou inženýrem Josefem Němetem v jeho diplomové práci nazvané: „Dynamická platforma pro nesení lehkého cíle pro testování systémů ADAS“ [44] z roku 2018. Rychlost větru je dána podmínkami testu, rychlost jízdy je stanovena zadáním.

### 6.5.1 Zvolené a vypočtené hodnoty

Hodnoty aerodynamických koeficientů jsou zvoleny podle tvaru konstrukce, například součinitele aerodynamického odporu jsem snížil, ale součinitele aerodynamického vztlaku a součinitele boční síly jsem zvýšil.

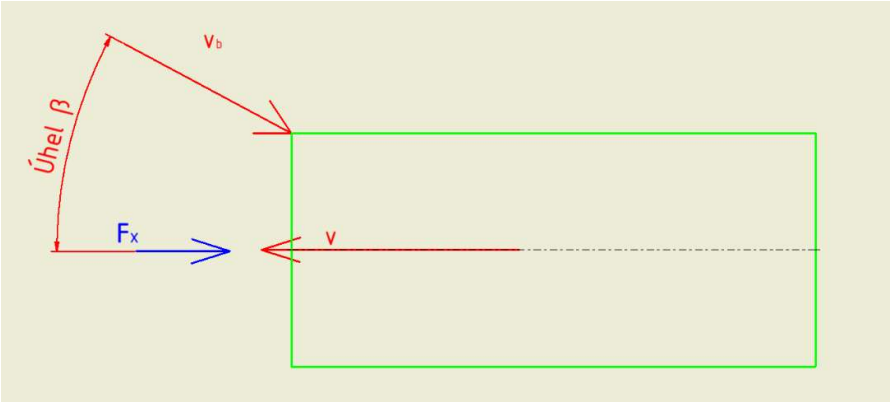
| | | |
|---|---|---|
| Hmotnost konstrukce | 60 | kg |
| Hmotnost platformy | 100 | kg |
| Celková hmotnost | 160 | kg |
| Rychlost jízdy | 100 | km/h |
| Gravitační zrychlení | 9,81 | $m/s^2$ |
| Zrychlení | 3 | $m/s^2$ |
| Rychlost větru | 10 | km/h |
| Hustota vzduchu | 1,22 | $kg/m^3$ |
| Brzdicí koeficient | 0,9 | |
| Koeficient aerodynamického odporu | 0,34 | |
| Koeficient aerodynamického vztlaku | 0,55 | |
| Koeficient aerodynamické boční síly | 0,95 | |
| Čelní ploha | 2,38 | $m^2$ |
| Boční plocha | 5,6 | $m^2$ |
| Výška vozidla | 1400 | mm |
| Rozchod | 1700 | mm |
| Rozvor | 4000 | mm |
| Světlá výška | 150 | mm |

*Tabulka 4 – Zvolené a vypočtené hodnoty*

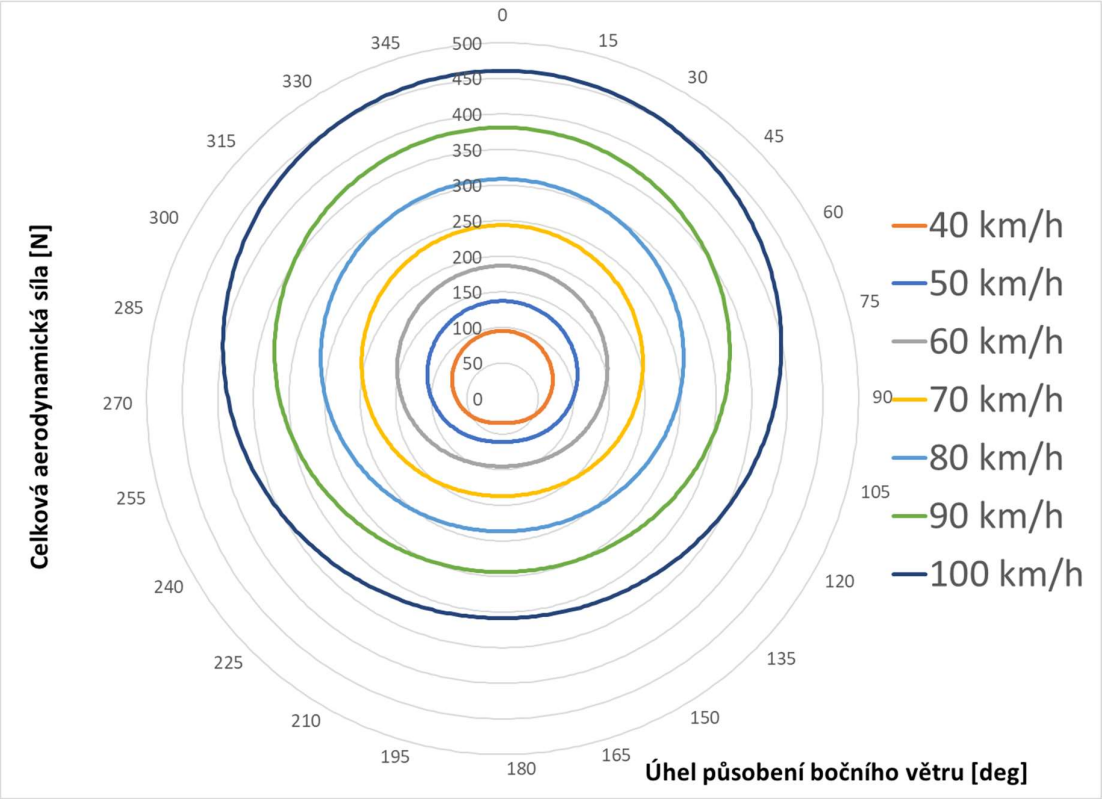
### 6.5.2 Výpočet aerodynamických sil

Při výpočtu musím zohlednit působení bočního větru, který může působit v celém rozsahu úhlů, tedy v celých 360°. Pro zatížení konstrukce budu uvažovat s největším zatížením, které z grafu níže vychází při nejvyšší rychlosti, tedy 100 km/h a při úhlu působení větru 0°, tedy při působení větru rovnoběžně proti pohybu vozidla.

Z grafu lze odečíst maximální působení celkového aerodynamického odporu 461 N. Tato hodnota bude následně použita při pevnostní analýze konstrukce.




*Obrázek 73 – Působení sil při pohybu konstrukce*



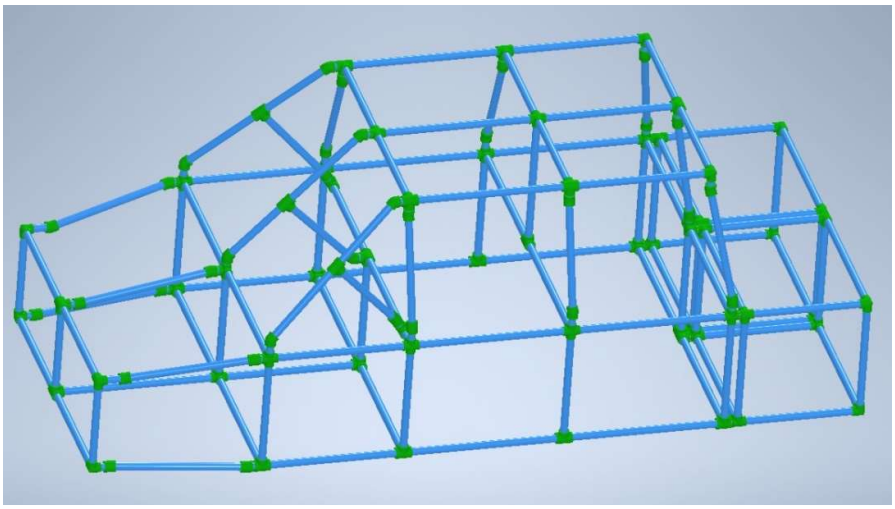

*Graf 1 – Působení celkové aerodynamické síly v závislosti na úhlu bočního větru*

## 6.6 Návrh konstrukce

### 6.6.1 Samotná konstrukce

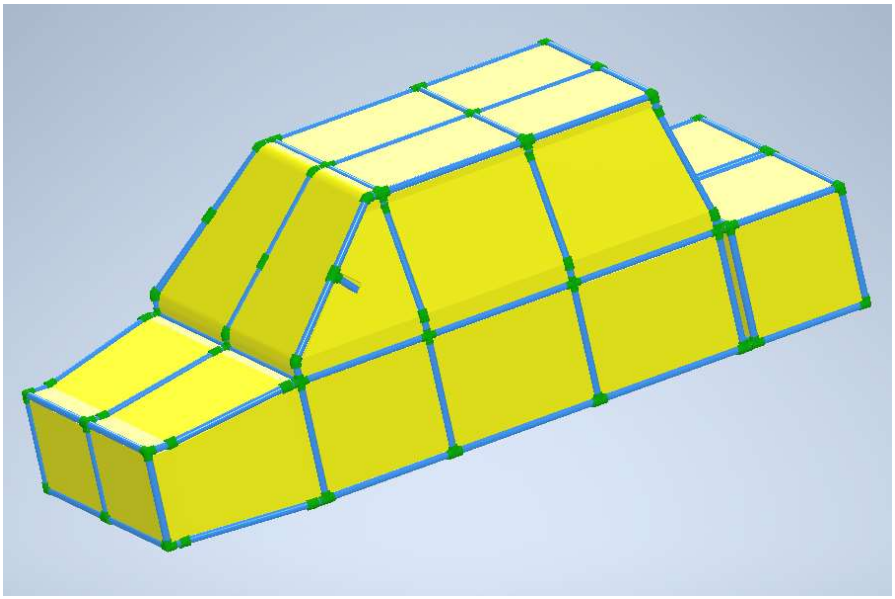
Nejprve bylo nutné navrhnout hrubou konstrukci, která po několika pevnostních kontrolách pomocí modelovacích softwarů dostala konečnou podobu. Ta zajistila dostatečnou pevnost a tuhost. Zároveň se celá konstrukce podobala co nejvíce reálnému vozidlo. V další fázi bylo nutné rozhodnout se, kde použiji magnety na příslušné rozložení konstrukce, aby spoje co nejméně ovlivnily pevnost celé konstrukce proti zatížení. Celou dobu jsem musel sledovat finální hmotnost konstrukce, aby nebyla překročena smluvená hranice.

Jak již bylo zmíněno materiály konstrukce budou PPR trubky a PPR tvarovky. S ohledem na pružnost PPR trubek nelze finální konstrukci sestavit tak jednoduše, jako tomu je na obrázcích 66 až 68. Je tedy nutné přidat několik dalších trubek do konstrukce plus několik vzpěrných trubek pro zvýšení pevnosti celé konstrukce.



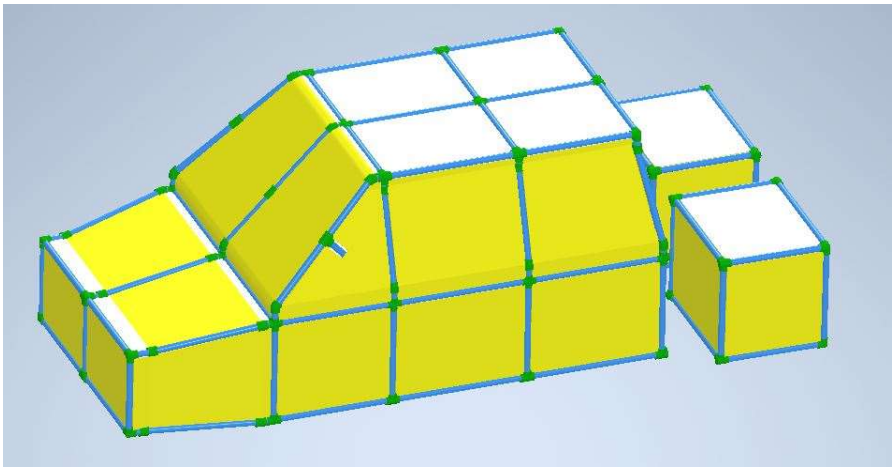
*Obrázek 74 – Konstrukce s finálními výztuhami*

Pro zvýšení pevnosti použiji desky z polystyrenu, tloušťka desek bude 15 mm. Některé desky stačí jen vyříznout na daný rozměr a některé je potřeba upravit na požadovaný tvar. Tyto desky budou přilepeny jako výplň do prázdných prostorů.



*Obrázek 75 – Konstrukce vyplněna polystyrenovými deskami*

Na obrázku níže bych rád zdůraznil možnost odpojení zadních částí konstrukce (zadní nárazníky). Pro zkušební vozidlo, na kterém je prováděn test systémů ADAS, je důležité, aby při nárazu do lehkého cíle nebylo poškozeno. Jelikož při nárazu do lehkého cíle zezadu, kde je pevnost konstrukce velká, by mohlo dojít k poškození vozidla, rozhodl jsem se pro řešení zadních nárazníků takto. Při nárazu zkušebního vozidla do lehkého cíle, bude překonána magnetická síla neodymových magnetů a zadní části jednoduše odpadnou. Tím se riziko poškození zkušebního vozidla sníží.



*Obrázek 76 – Konstrukce s oddělitelnými zadními částmi*

Celá konstrukce je následně potažena plachtou z odrazivého materiálu, aby senzory testovaného vozidla mohly lehký cíl zaregistrovat jako překážku a byl zajištěn bezproblémový průběh zkoušek.

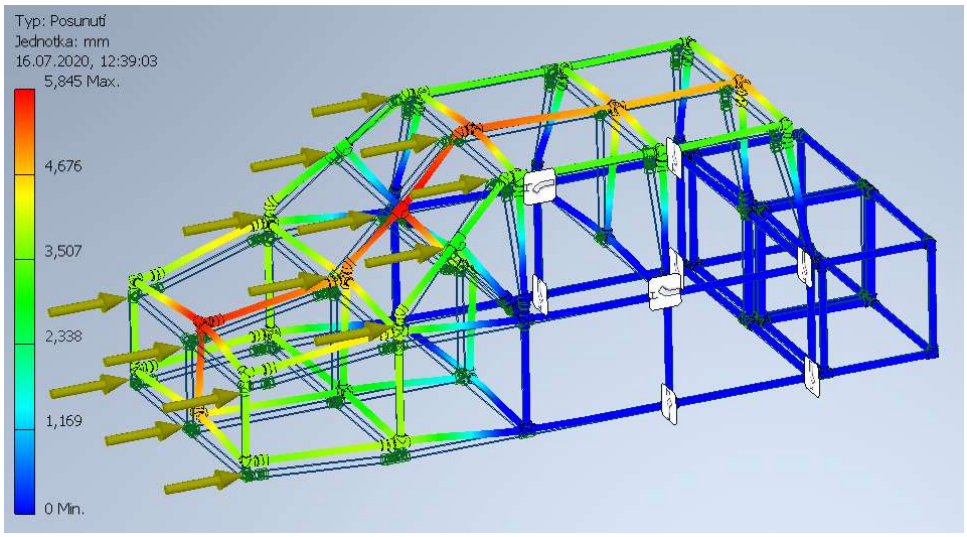
Plachta bude připevněna ke konstrukci pomocí pásků se suchým zipem, které budou umístěny na každé vnější trubce ve vzájemné vzdálenosti 50 cm.

*Obrázek 77 – Konstrukce potažená plachtou z odrazivého materiálu*

### 6.6.2 Pevnostní analýza

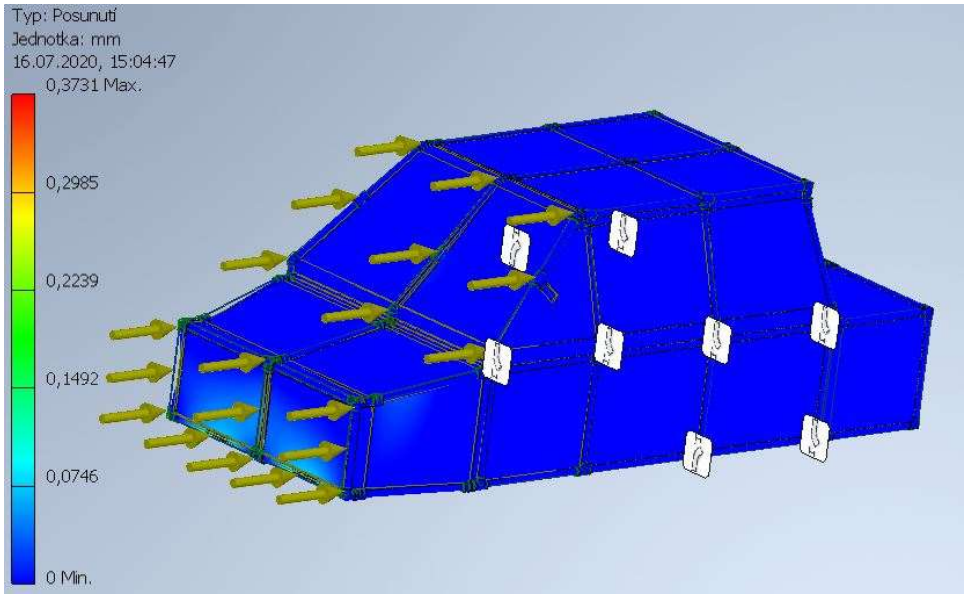
Na obrázku níže lze pozorovat, že při působení maximálního celkového aerodynamického odporu je posunutí maximálně 5,9 mm, což je akceptovatelné z pohledu použití, ale pro větší pevnost je zapotřebí přidat výplň do prázdných prostorů.

Pevné vazby jsou v místech, kde bude konstrukce usazena na „bednu“, která bude následně připojena k platformě.




*Obrázek 78 – Zatížení konstrukce*

Po začlenění polystyrenových desek lze pozorovat značné zlepšení v pevnosti konstrukce při působení maximálního celkového aerodynamického odporu 461 N. Posunutí je v tomto případě 0,4 mm, což je více než přijatelné.

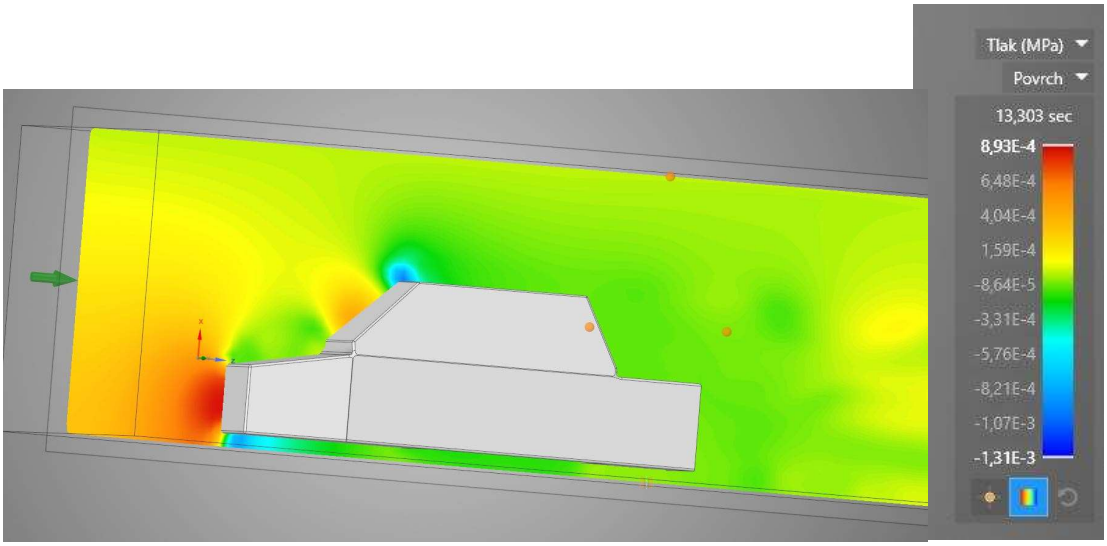



*Obrázek 79 – Zatížení konstrukce s polystyrenovými deskami*

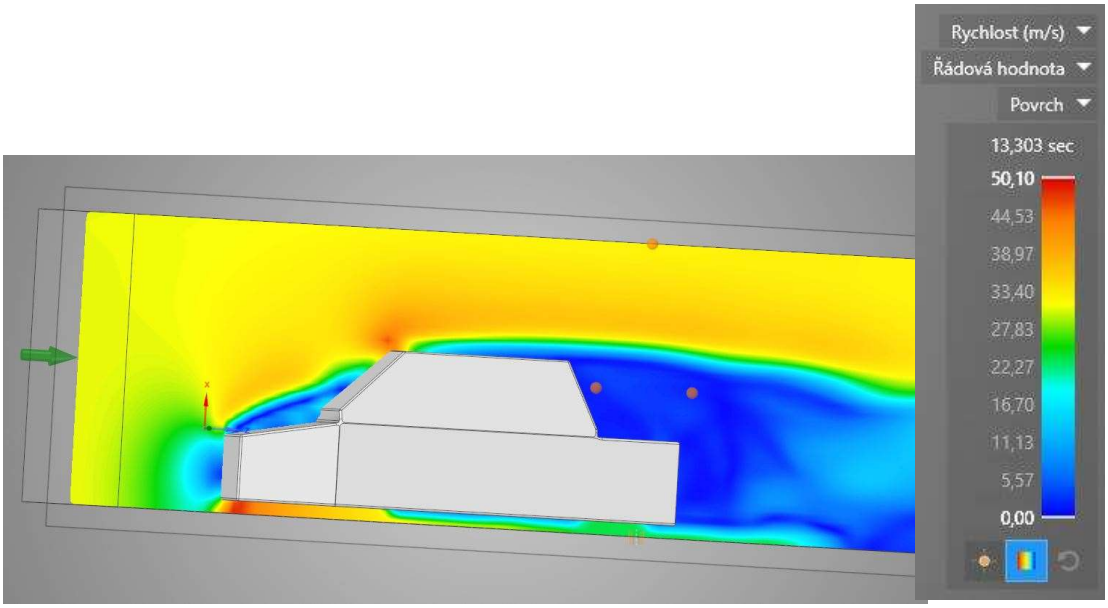
### 6.6.3 Aerodynamické proudění

Konstrukci jsem dále v programu ANSYS DISCOVERY LIVE podrobil simulaci aerodynamického působení proudícího vzduchu, které nahrazuje funkci aerodynamického tunelu. V programu jsem nastavil rychlost proudění 110 km/h rovnoběžně proti směru pohybu konstrukce.

Na obrázku je vidět, kterým místům bylo zapotřebí při konstruování věnovat větší pozornost, proto jsem v těchto místech přidal výztuhy. Nejvyšší tlak v místech s červenou barvou dosahuje hodnot 890 Pa při dané rychlosti proudění 110 km/h. Nejvyšší rychlost působící na části konstrukce dosahuje 50 m/s, tedy 180 km/h.




*Obrázek 80 – Působení tlaku při rychlosti proudění 110 km/h*

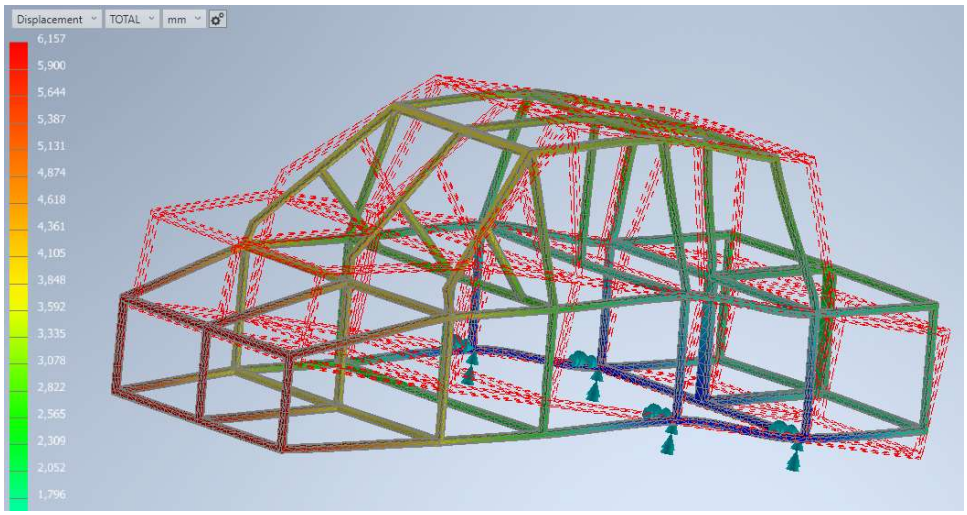



*Obrázek 81 – Působení rychlosti při rychlosti proudění 110 km/h*

### 6.6.4 Frekvenční analýza

Konstrukci jsem také podrobil frekvenční analýze v programu Autodesk Inventor Nastran. Důvodem byla potřeba zjistit vlastní frekvence konstrukce a tyto vlastní frekvence poté porovnat s vlastními frekvencemi platformy, které byly vypočteny v již zmíněné DP a jejich hodnoty jsou 3,5 Hz a 70 Hz. [44] Mnou navržená konstrukce má podle programu Nastran vlastní frekvenci 41,5 Hz, tedy jinou než je vlastní frekvence platformy. Nehrozí tedy nebezpečí, že by konstrukce dopadla tak, jak je na obrázku níže.

Do této analýzy jsem použil model, kde jsem vytvořil shell model a místo spojů v tvarovkách použil tuhé spoje, tím se konstrukce stala jednolitým kusem PPR trubek.




*Obrázek 82 – Frekvenční analýza konstrukce*

## 6.7 Sestavení konstrukce

V této kapitole bych se rád věnoval některým úskalím při sestavování konstrukce a rád bych přiblížil, jak by to bylo dle mého názoru nejlépe uskutečnitelné.

### 6.7.1 Spojení trubek a tvarovek

Spojení tvarovek a trubek bude probíhat dvěma způsoby, jedním bude trvalé spojení a druhým bude spojení pomocí neodymových magnetů.

#### 6.7.1.1 Trvalé spojení

Jelikož se jedná o plast, trvalé spojení je v celku jednoduché a provádí se pomocí polyfůzní svářečky. Na této svářečce se zároveň nahřívají oba protikusy a okamžitě po nahřátí se dají několika rychlými a jednoduchými pohyby trvale spojit. Toto spojení je trvalé a není možné ho za normálních okolností rozpojit.

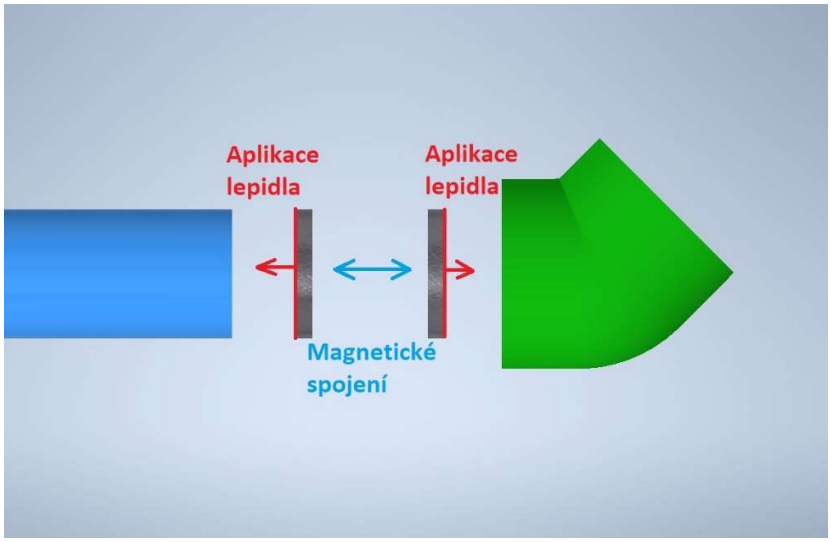
Výrobcem je stanoven čas nahřívání trubek a tvarovek na 20 s. [58]

*Obrázek 83 – Polyfůzní svářečka plastových trubek od firmy EXTOL [61]*

6.7.1.2 Spojení magnety

Některé spoje je potřeba zajistit pouze na dobu testů. Na převoz je nutné, aby některé spoje nebyly trvalé, ale pouze dočasné. Jako řešení jsem vybral spojení neodymovými magnety, které budou zalepeny na jedné straně do tvarovky a na druhé straně budou nalepeny na konec samotné trubky.

Použité lepidlo Power adhesive bisonite od výrobce BISON má předepsanou pevnost 1800 N/cm$^3$ po zatvrdnutí, které nastane do 15 minut. Jedná se o dvousložkové lepidlo a je předepsané na spojování kovů a plastů, takže splňuje požadavky. [62]




*Obrázek 84 – Ukázka spojení neodymovými magnety*

# 7 Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout lehký cíl pro testování vozidlových systémů ADAS, který bude schopný se bezproblémově pohybovat rychlostí až 100 km/h. Zadání jsem dle mého názoru splnil v celém rozsahu. Celá konstrukce dle výpočtů vydrží bez toho, aniž by se nějak poškodila nebo výrazně zdeformovala při rychlosti 100 km/h. Váha byla na začátku stanovena do 100 kg, což jsem také splnil, protože mnou navržená konstrukce má váhu 60 kg.

Při výběru diplomové práce mě toto zadání velice zaujalo. Jelikož mám zkušenosti s prací s PPR trubkami, které se používají převážně pro rozvody teplé a studené vody, rozhodl jsem se, že by takto řešená konstrukce mohla být velice zajímavá, a přitom by mohla splňovat požadavky.

Základní konstrukce je tedy vytvořena z PPR trubek a PPR tvarovek, které jsou jak lehké, tak poměrně levné. Tvorba nestandardních tvarovek pomocí 3D tisku je také snadná. Prvotní návrh konstrukce byl po MKP analýze několikrát doplněn výztuhami z PPR trubek, aby výsledek z MKP analýzy vyhovoval. Dále je celá konstrukce pro zlepšení pevnosti vyplněna polystyrenovými deskami, které při své malé váze příznivě ovlivňují pevnost konstrukce. Finální verze konstrukce je potažena plachtou z odrazivého materiálu, a to z důvodu, aby při testování byl tento lehký cíl vždy zaregistrován senzory testovaného vozidla.

Zmíněná MKP analýza prokázala maximální posunutí konstrukce o 0,4 mm při použití polystyrenových desek. Zatížení konstrukce je 461 N při rychlosti pohybu konstrukce 100 km/h a po přičtení působení větru 10 km/h. Také jsem pro představu, jak se bude chovat proud vzduchu kolem konstrukce, udělal analýzu v programu ANSYS. Frekvenční analýza provedena v programu Autodesk Inventor Nastran ukazuje vlastní frekvenci konstrukce 41,5 Hz. Tuto vlastní frekvenci jsem dále porovnal s vypočtenými frekvencemi použité platformy. Tyto frekvence se s vlastní frekvencí konstrukce neshodují, a tudíž i přes tuto kontrolu konstrukce prošla.

Tato konstrukce není primárně navržena do sériové výroby. Jedná se o velice ojedinělou a celkem unikátní konstrukci, které je určena spíše pro „amatérské“ testování ADAS systémů. Avšak cena a váha celé konstrukce je konkurenceschopná v porovnání s lehkými cíli zmíněnými v rešerši této diplomové práce.

Na závěr bych chtěl poděkovat čtenáři za pozornost a upřímně věřím, že má diplomová práce byla pro čtenáře inspirující a poskytla všechny důležité informace pro případnou realizaci konstrukce.

# 8 Použité symboly

| | | |
|---|---|---|
| $F_X$ | [N] | Aerodynamický odpor |
| $F_Z$ | [N] | Aerodynamický vztlak |
| $F_Y$ | [N] | Aerodynamická boční síla |
| $C_X$ | [-] | Aerodynamický součinitel odporu |
| $C_Z$ | [-] | Aerodynamický součinitel vztlaku |
| $C_Y$ | [-] | Aerodynamický součinitel boční síly |
| $\beta$ | [°] | Úhel působení bočního větru |
| $\rho$ | [kg/m$^3$] | Hustota okolního prostředí |
| $V_\infty$ | [m/s] | Rychlost relativního proudu vzduchu |
| $A$ | [m$^2$] | Čelní plocha |
| $V_b$ | [m/s] | Rychlost větru |
| $\alpha$ | [°] | Úhel sklonu kapoty |
| $\vartheta$ | [°] | Úhel zkosení předního skla |
| $h$ | [mm] | Světlá výška |
| $l$ | [mm] | Rozvor |
| $X_A$ | [mm] | Poloha působiště vztlakové síly |
| $X_Q$ | [mm] | Poloha působiště boční síly |

# 9 Seznam obrázků

Obrázek 1 – ADAS systémy [2] ..... - 5 -
Obrázek 2 – Přizpůsobení rozsvícených světel v zatáčce a protijedoucímu vozu [3] ..... - 6 -
Obrázek 3 – Rozpoznávání dopravních značek ve vozidlech VW [4] ..... - 6 -
Obrázek 4 – Systém Surround View 360° (4 kamery) [5] ..... - 7 -
Obrázek 5 – Systém varování řidiče před čelní srážkou [6] ..... - 7 -
Obrázek 6 – Detekce jízdního pruhu [7] ..... - 8 -
Obrázek 7 – Systém detekce mrtvého úhlu [8] ..... - 8 -
Obrázek 8 – Snímání louží a rozstřiku vody pro předpověď aquaplaningu [9] ..... - 9 -
Obrázek 9 – Signály z eTIS varují před vznikem aquaplaningu [9] ..... - 9 -
Obrázek 10 – Přizpůsobení rychlosti na základě rychlosti vpředu jedoucího vozidla [10] ... - 10 -
Obrázek 11 – Funkce AEB systému [11] ..... - 10 -
Obrázek 12 – ADAS snímače [2] ..... - 11 -
Obrázek 13 – Příklad scény snímané pomocí RGB kamery [46] ..... - 12 -
Obrázek 14 – Příklad scény snímané pomocí LIDAR [48] ..... - 13 -
Obrázek 15 – Příklad scény snímané pomocí radarů [50] ..... - 14 -
Obrázek 16 – Soft Car 360 – Micro [13] ..... - 15 -
Obrázek 17 – Soft Car 360 – Hatchback [13] ..... - 16 -
Obrázek 18 – Soft Car 360 – Sedan [13] ..... - 16 -
Obrázek 19 – Skládání Soft Car 360 [13] ..... - 17 -
Obrázek 20 – 4actviveC2 [14] ..... - 18 -
Obrázek 21 – sestavení 4activeC2 [15] ..... - 18 -
Obrázek 22 – Stojící pěnový cíl [16] ..... - 19 -
Obrázek 23 – Stojící pěnový cíl [16] ..... - 19 -
Obrázek 24 – Vozidlový cíl MD-VT F [17] ..... - 20 -
Obrázek 25 – Vozidlový cíl MD-VT F s tažným systémem [18] ..... - 20 -
Obrázek 26 – Vozidlový cíl firmy Messring [19] ..... - 21 -
Obrázek 27 – Vozidlový cíl firmy Messring [19] ..... - 21 -
Obrázek 28 – „Nafukovací auto“ na fakultě dopravní ..... - 22 -
Obrázek 29 – CCRs test dle Euro NCAP [20] ..... - 25 -
Obrázek 30 – CCRm test dle Euro NCAP [20] ..... - 26 -
Obrázek 31 – CCRb test dle Euro NCAP [20] ..... - 26 -
Obrázek 32 – NHTSA NCAP test se stojícím lehkým cílem [20] ..... - 27 -
Obrázek 33 – NHTSA NCAP test se zpomalujícím lehkým cílem [20] ..... - 27 -
Obrázek 34 – NHTSA NCAP test s pomalu jedoucím lehkým cílem [20] ..... - 28 -
Obrázek 35 – Scénář testu detekční zóny [20] ..... - 28 -
Obrázek 36 – Scénář testu přesnosti detekční vzdálenosti [20] ..... - 29 -
Obrázek 37 – Scénář testu cílového bočního rozlišení [20] ..... - 29 -
Obrázek 38 – Perforovaný hliníkový plech [22] ..... - 31 -
Obrázek 39 – Olověný plech, tloušťka 0,5 mm [23] ..... - 31 -
Obrázek 40 – Cívka cínového plechu pro výrobu plechovek [24] ..... - 32 -
Obrázek 41 – Hořčíkový plech tloušťky 0,4 mm [26] ..... - 32 -
Obrázek 42 – Zirkoniový plech tloušťky 0,5 mm [28] ..... - 33 -
Obrázek 43 – Dřevěná překližka [52] ..... - 34 -
Obrázek 44 – Sendvičová deska s pěnovým jádrem [31] ..... - 35 -
Obrázek 45 – Sendvič s voštinovým jádrem [32] ..... - 35 -
Obrázek 46 – Polyetylenové trubky [33] ..... - 37 -
Obrázek 47 – Izolační trubice z pěnového polyetylenu = MIRELON [34] ..... - 37 -

Obrázek 48 – PPR trubky [35] ..... - 38 -
Obrázek 49 - Lehká konstrukční deska z materiálu FOAMLITE [36] ..... - 38 -
Obrázek 50 – PVC trubky [37] ..... - 38 -
Obrázek 51 – Polystyren (STYROPOR) [38] ..... - 39 -
Obrázek 52 – Polystyren (STYRODUR) [39] ..... - 39 -
Obrázek 53 - Polyuretanová izolační deska [40] ..... - 40 -
Obrázek 54 – Pěnový polyuretan [41] ..... - 40 -
Obrázek 55 – Mikroporézní pryžová deska [42] ..... - 41 -
Obrázek 56 – Technická korková deska tloušťka 60 mm [43] ..... - 41 -
Obrázek 57 – Aerodyn. síly na pohybující se předmět v proudu vzduchu ..... - 43 -
Obrázek 58 – Vliv tvaru přední masky vozu na velikost aerodyn. souč. odporu [55] ..... - 45 -
Obrázek 59 – Vliv sklonu kapoty a čelního skla na velikost aerodyn. souč. odporu [60] ..... - 46 -
Obrázek 60 – Vliv tvaru zadní části karosérie na aerodyn. souč. odporu [55] ..... - 46 -
Obrázek 61 – Vliv tvaru zadní části karosérie na aerodyn. souč. vztlaku [55] ..... - 47 -
Obrázek 62 – Vliv tvaru přední části karosérie na aerodyn. souč. vztlaku [55] ..... - 48 -
Obrázek 63 – Závislost aerodyn. souč. vztlaku na vzdálenosti automobilu od vozovky [55] - 48 -
Obrázek 64 – Vliv tvaru přední části karosérie na aerodyn. souč. boční síly [55] ..... - 49 -
Obrázek 65 – Vliv tvaru zádní části karosérie na aerodyn. souč. boční síly [55] ..... - 49 -
Obrázek 66 – Boční pohled konstrukce ..... - 50 -
Obrázek 67 – Zadní a přední pohled konstrukce ..... - 50 -
Obrázek 68 – Horní pohled konstrukce ..... - 50 -
Obrázek 69 – Použité PPR trubky firmy WAVIN [58] ..... - 52 -
Obrázek 70 – Použité PPR tvarovky firmy WAVIN [58] ..... - 52 -
Obrázek 71 – Izolační trubice z pěnového polyetylenu firmy Mirel [34] ..... - 53 -
Obrázek 72 – Neodymový magnet výrobce MAGSY [44] ..... - 53 -
Obrázek 73 – Působení sil při pohybu konstrukce ..... - 56 -
Obrázek 74 – Konstrukce s finálními výztuhami ..... - 57 -
Obrázek 75 – Konstrukce vyplněna polystyrenovými deskami ..... - 58 -
Obrázek 76 – Konstrukce s oddělitelnými zadními částmi ..... - 58 -
Obrázek 77 – Konstrukce potažená plachtou z odrazivého materiálu ..... - 59 -
Obrázek 78 – Zatížení konstrukce ..... - 60 -
Obrázek 79 – Zatížení konstrukce s polystyrenovými deskami ..... - 60 -
Obrázek 80 – Působení tlaku při rychlosti proudění 110 km/h ..... - 61 -
Obrázek 81 – Působení rychlosti při rychlosti proudění 110 km/h ..... - 61 -
Obrázek 82 – Frekvenční analýza konstrukce ..... - 62 -
Obrázek 83 – Polyfůzní svářečka plastových trubek od firmy EXTOL [61] ..... - 63 -
Obrázek 84 – Ukázka spojení neodymovými magnety ..... - 64 -

# 10 Seznam grafů

Graf 1 – Působení celkové aerodynamické síly v závislosti na úhlu bočního větru ..... - 56 -

# 11 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Porovnání lehkých cílů podle výrobců ..... - 23 -
Tabulka 2 – Hodnoty aerodynamického součinitele odporu základního tvaru karoserie [57] .... - 45 -
Tabulka 3 – Hodnoty aerodynamického součinitele vztlaku základního tvaru karosérie [57] .... - 47 -
Tabulka 4 – Zvolené a vypočtené hodnoty ..... - 55 -

# 12 Použití literatura

[1] Poznejte systém ADAS: Brzo jej budete používat každý den [online]. AGC Automotive Replacement Glass 2016 [cit. 11. 3. 2020]. Dostupné z: https://www.agc-arg.com/cs/news/159/poznejte-system-adas-brzo-jej-budete-pouzivat-kazdy-den

[2] ADAS Sensor Calibration Increases Repair Costs [online]. AAA Automotive 22. 11. 2017. [cit. 11. 3. 2020]. Dostupné z: https://airprodiagnostics.com/adas-sensor-calibration-increases-repair-costs/

[3] Dynamic Light Assist [online]. Šmucler magazín 2019 [cit. 28. 5. 2020].

Dostupné z: https://www.smucler.cz/blog/dynamic-light-assist/

[4] Asistent pro rozpoznávání dopravních značek poskytuje aktuální informace v reálném čase [online]. Volkswagen 2019. [cit. 28. 5. 2020]. Dostupné z: https://www.volkswagen.cz/svet-volkswagen/novinky/3530-asistent-pro-rozpoznavani-dopravnich-znacek-poskytuje-aktualni-informace-v-realnem-case

[5] 360-degree camera tech in RAM trucks [online]. Stony Plain Chrysler 2019. [cit. 30. 5. 2020].Dostupné z: https://www.stonyplainchrysler.ca/blog/how-does-the-ram-360-degree-surround-view-camera-work/

[6] Driver assistance systems can increase safety and fuel efficiency [online]. Chalmers University of technology 2012. [cit. 30. 5. 2020]. Dostupné z: https://phys.org/news/2012-06-driver-safety-fuel-efficiency.html

[7] ADAS Repair Recommendations [online]. Windscreen Replacements – Sunshine Coast Replacement 2017 [cit. 30. 5. 2020]. Dostupné z: http://www.windscreenreplacements.com.au/adas-repair-recommendations/

[8] Blind Spot Detection System (BSD) market detailed in new research report [online]. RNR Market Research 2019. [cit. 30. 5. 2020]. Dostupné z: https://www.whatech.com/market-research/transport/587353-blind-spot-detection-system-bsd-market-revenue-production-capacity-analysis

[9] Continental Unveils New Assistance Concept for Early Risk Detection of Aquaplaning Situation [online]. Continental AG 2018 [cit. 30. 5. 2020]. Dostupné z: https://www.continental-corporation.com/en/press/press-releases/new-assistance-concepts-127622

[10] Škoda Adaptive Cruise Control System – How ACC works, simply clever [online]. Škoda Australia 2016. [cit. 30. 5. 2020]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=QQEtbABROpU

[11] What are Mercedes Pre-Safe Brakes [online]. Mercedes-Benz of Flagstaff 2018. [cit. 30. 5. 2020]. Dostupné z: https://mercedesofflagstaff.com/2018/09/17/what-are-mercedes-pre-safe-brakes/

[12] ADAS Targets [online]. Anthony Best Dynamics Limited 2019. [cit. 12. 3. 2020]. Dostupné z: https://www.abdynamics.com/en/products/track-testing/adas-targets

[13] Calibrated, Tested, Proven. [online]. Anthony Best Dynamics Limited 2017. [cit. 12. 3. 2020]. Dostupné z: http://www.dri-ats.com/soft-car-360/#calibrated

[14] Advanced testing technologies for active safety systems to reduce road fatalities [online]. 4activeSystems GmbH 9. 6. 2017. [cit. 18. 3. 2020]. Dostupné z: http://4activesystems.at/images/downloads/current/brochure/4activeSystems_product_brochure_english.pdf

[15] 4activeC2 free standing car target [online]. 4activeSystems GmbH 23. 5. 2017. [cit. 18. 3. 2020]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=ZBF4tCcQiHs

[16] Moshon Data Slab Foam Target. [online]. Steve Boyle, Moshon Data 2017. [cit. 18. 3. 2020]. Dostupné z: http://www.moshondata.com/wp-content/uploads/2018/04/MoshonData_MD-SF_brochure_2017_web.pdf

[17] Moshon Data Vehicle Target. [online]. Steve Boyle, Moshon Data 2017. [cit. 18. 3. 2020]. Dostupné z: http://www.moshondata.com/wp-content/uploads/2018/04/MoshonData_MD-VT_F_brochure-web.pdf

[18] Moshon Data Vehicle Target. [online]. Steve Boyle, Moshon Data 2017. [cit. 18. 3. 2020]. Dostupné z: http://www.moshondata.com/products/moshon-data-vehicle-target/

[19] Euro NCAP Vehicle Target. [online]. Messring, Safer Mobility 2019. [cit. 18. 3. 2020].

Dostupné z: https://www.messring.de/en/products/active-safety/euro-ncap-vehicle-target/

[20] Autonomous Emergency Braking & Collision Mitigation Testing. [online].

ADAS & Autonomous 2017. [cit. 18. 3. 2020]. Dostupné z: https://www.vboxautomotive.co.uk/index.php/en/applications/adas-safety/aeb-collision-mitigation#test-procedures

[21] Technické materiály v primárním a preprimárním vzdělávání [online]. Mgr. Jan Janovec, Ph. D., 2013. Ústí nad Labem [cit. 27. 5. 2020]. Dostupné z: http://old.projekty.ujep.cz/combiteachers/wp-content/uploads/2013/04/tech_mat_v_primarnim_a_preprimarnim_vzdelavani_autor_Jan_Jalove.pdf

[22] Screen servis, s.r.o., [online]. Screen servis 2017. [cit. 27. 5. 2020]. Dostupné z: http://www.tahokov-derovaneplechy.cz/produkt/tahokov-kosoctvercove-oko-10-x-5-x-1-mm-plech-05-mm-1000-x-2000-mm-hlinik/

[23] Schachermayer online katalog. [online]. Shachemayer s. r. o. 2019. [cit. 27. 5. 2020].

Dostupné z: https://webshop.schachermayer.com/cat/cs-CZ/product/oloveny-plech-pb-99-94-cu-2000-1000-0-5-mm/106848305

[24] Tianjin JCADTO [online]. Tianjin JCADTO Steel Pipe Co., Ltd. 2019 [cit. 27. 5. 2020]. Dostupné z: http://cz.jcsteelpipe.com/steel-coil-plate/electrolytic-tin-plate/jis-g3303-electrolytic-tinplate-coil-for-cans.html

[25] Periodická soustava prvků, www.prvky.com. [online]. Hořčík 2017. [cit. 27. 5. 2020].

Dostupné z: http://www.prvky.com/12.html#vyuziti

[26] IndiaMART [online]. IndiaMART InterMESH Ltd. 2019 [cit. 27. 5. 2020].

Dostupné z: https://www.indiamart.com/proddetail/az-31-magnesium-sheet-12201476162.html

[27] Periodická soustava prvků, www.prvky.com. [online]. Zirconium 2017. [cit. 27. 5. 2020]. Dostupné z: http://www.prvky.com/40.html#vyuziti

[28] Standford Advanced Materials [online]. Standford Advanced Materials, Products 2019. [cit. 27. 5. 2020]. Dostupné z: http://www.samaterials.com/zirconium-metal/947-zirconium-sheet-zr-sheet.html

[29] Dřevěné konstrukce. [online]. Doc. Ing. Petr Kuklík, CSc., Vydavatelství ČVUT, fakulta strojní 2005. [cit. 15. 5. 2020]. Dostupné z: http://mech.fd.cvut.cz/members/malinovsky/materialy/Drevo%20prezentace.pdf

[30] Hanbook of Composites, Stanley T. Petters, Vydavatelství Springer US, 1998, ISBN: 0-412-54020-7.

[31] SWL Light – PX elements 3-ply. [online]. SWL Tischlerplatten Betriebs GmbH 2019

[cit. 15. 5. 2020]. Dostupné z: https://www.s-w-l.com/english/produkte/light_px.php

[32] Diagram of a composite sandwich panel. [online]. George W. Herbert 2006

[cit. 15. 5. 2020]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b2/CompositeSandwich.png

[33] panfitinka.cz [online]. Pan Fitinka, online katalog 2019 [cit. 28. 5. 2020].

Dostupné z: https://eshop.panfitinka.cz/p/termolux-trubka-pe-80-sdr-11-10-mpa-32-x-30-navin-100-m-0121032293

[34] Mirel Vratimov a.s. [online]. Mirel Vratimov a.s. katalog, termoizolační trubice 2019 [cit. 28. 5. 2020]. Dostupné z: http://www.mirelon.com/cz/trubice-mirelon-pro-vnitrni-prumer-40-mm-i000013.html?p=280

[35] FV plast a.s. [online] Katalog - Plastové trubky 2019. [cit. 28. 5. 2020]. Dostupné z: https://www.fv-plast.cz/fv-pp-rct-uni

[36] A PLUS CREATIONS LIMITED [online]. Katalog 2016 [cit. 30. 5. 2020]. Dostupné z: https://eshop.aplusprint.co.nz/product/__trashed/

[37] Amispol s.r.o. [online]. Amispol – Katalog PVC trubky 2019 [cit. 28. 5 .2020].

Dostupné z: https://www.amispol.cz/ot-pvc-110-3-2-6000-trubka-ochranna-hladka-hrdlovana

[38] Baudiscount Paderborn. [online]. Baudiscount Paderborn – Katalog desek 2019. [cit. 28. 5. 2020]. Dostupné z: http://www.baudiscount-paderborn.de/Styropor-Waermedaemmung-EPS-DEO-100KpA-WLG-035

[39] Karl Bachl GmbH & Co.KG Alle Rechte vorbehalten. [online]. STYRODUR katalog 2019.

[cit. 28. 5. 2020]. Dostupné z: https://www.bachl.de/index.php/styrodurbasf/styrodur-produkte-erhaeltlich-ueber-bachl-daemmtechnik/19-styrodur-produkte/118-styrodur-2800-c

[40] Thermo zateplení fasád s.r.o. [online]. Thermo zateplení fasád – online katalog 2019

[cit. 28. 5. 2020]. Dostupné z: https://eshop.termozatepleni.cz/New-Therm-polyuret-izolacni-deska-1x0-6m-tl-70mm-d113_1035453805.htm

[41] Forumpodlah.cz [online]. Online katalog 2019. [cit. 28. 5. 2020]. Dostupné z: https://www.forumpodlah.cz/penovy-polyuretan-pur

[42] HASMI-eshop.cz [online]. Katalog gumových desek a pásů 2019. [cit. 28. 5. 2020]. Dostupné z: https://www.hasmi-eshop.cz/mikroporezni-pryz-sbr-deska/

[43] Korek Jelínek, spol. s.r.o. [online]. Katalog – technické korkové desky 2019. [cit. 28. 5. 2020]. Dostupné z: https://korek-jelinek.cz/z4970-technicke-korkove-desky

[44] MAGSY. [online] MAGSY katalog 2019. [cit. 14. 7. 2020]. Dostupné z: https://e-shop.magsy.cz/neodymovy-magnet-valec-pr-40x8-n/

[45] Német Josef, Dynamická platforma pro nesení lehkého cíle pro testování systémů ADAS. Praha, 2018. Diplomová práce, České Vysoké Učení Technické v Praze. Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Václav Jirovský Ph.D.

[46] ADAS SENSORS: 1. RGB CAMERAS. [online]. RSIP VISION, Global Leader in Computer Vision and Deep Learning [cit. 14. 7. 2020]. Dostupné z: https://www.rsipvision.com/adas-sensors-rgb-cameras/

[47] ADAS SENSORS: 2. LIDARS. [online]. RSIP VISION, Global Leader in Computer Vision and Deep Learning [cit. 14. 7. 2020]. Dostupné z: https://www.rsipvision.com/adas-sensors-lidars/

[48] Velodyne Touts Latest Lidar Advances, Autonomous Vehicle Partnerships [online]. RBR Staff 2019 [cit. 14. 7. 2020]. Dostupné z: https://www.roboticsbusinessreview.com/unmanned/unmanned-ground/velodyne-touts-latest-lidar-advances-autonomous-vehicle-partnerships/

[49] ADAS SENSORS: 3. RADARS. [online]. RSIP VISION, Global Leader in Computer Vision and Deep Learning [cit. 14. 7. 2020]. Dostupné z: https://www.rsipvision.com/sensors-in-adas-technology-radars/

[50] Radar für alle Klassen [online]. Robert Bosch GmbH 2015 [cit. 14. 7. 2020]. Dostupné z: https://automobilkonstruktion.industrie.de/allgemein/radar-fuer-alle-klassen/#slider-intro-1

[51] Vlastní zdroj

[52] Au-MEx s.r.o. [online]. Au-Mex s.r.o. 2019 [cit. 14. 7. 2020]. Dostupné z: https://shop.au-mex.cz/dtd-v100-p3-13x615x2050-detail-R3B0000101.aspx

[53] Počet obětí dopravních nehod v roce 2019 opět klesl [online]. Tomáš Malík – Autowe.cz 2020 [cit. 14.7.2020]. Dostupné z: https://www.autoweb.cz/pocet-obeti-dopravnich-nehod-roce-2019-opet-klesl/

[54] U.S. DOT and IIHS announce historic commitment of 20 automakers to make automatic emergency braking standard on new vehicles. [online] Joe Young – HLDI 2016. [cit. 14. 7. 2020]. Dostupné z: https://www.iihs.org/news/detail/u-s-dot-and-iihs-announce-historic-commitment-of-20-automakers-to-make-automatic-emergency-braking-standard-on-new-vehicles

[55] Aerodynamika vozidel, Kovanda J., Kovanda B., Vydavatelství ČVUT v Praze, Česká republika, 1999, ISBN 80-01-01942-X

[56] Race car aerodynamice: designing for speed, Katz J., Vydavatelství Cambridge: Bentley Publisher, Anglie, 2006, ISBN 0-8376-0142-8

[57] *Aerodynamics of road vehicles: from fluid mechanics to vehicle engineering*. Hucho Wolf-Heinrich, Vydavatelství SAE International, USA, 1998, ISBN 0768000297

[58] Katalogy produktů. [online]. WAVIN EKOPLASTIK, 2020. [cit. 14. 7. 2020]. Dostupné z: https://www.wavinekoplastik.com/cz/katalogy-produktu

[60] Advanced Vehicle Technology. Heinz Heisler, Vydavatelství Oxford, Velká británie, 2002, ISBN 0 7506 5131 8

[61] Domacitechnika.cz [online]. Online katalog 2020 [cit. 14. 7. 2020]. Dostupné z: https://www.domacitechnika.cz/produkt/extol-ptw-80-8897210

[62] Technický list lepidla Power Adhesive Bisonite [online]. BISON Online katalog 2015 [cit. 14. 7. 2020]. Dostupné z: https://www.lepidla.cz/upload/files/1902_bison-power-adhesive_1902.pdf

# 13 Seznam příloh

Příloha 1 – Sestava s trubkami

Příloha 2 – Sestava s deskami

Příloha 3 – Přední nárazník

Příloha 4 – Levý přední bok – spodní

Příloha 5 – Pravý přední bok – spodní

Příloha 6 – Levá přední část boku

Příloha 7 – Pravá přední část boku

Příloha 8 – Zadní část spodní

Příloha 9 – Zadní část horní

Příloha 10 – Přední část střechy

Příloha 11 – Střední část horní

Příloha 12 – Střední část dolní

Příloha 13 – Přední dolní část

Příloha 14 – Zadní nárazník levý

Příloha 15 – Zadní nárazník pravý

Příloha 16 – Čelní sklo střed

Příloha 17 – CD – Výkresová dokumentace

Příloha 18 – CD – Model sestavy lehkého cíle (Autodesk Inventor 2020)

18.1 – Model konstrukce s trubkami

18.2 – Model konstrukce s polystyrenovými deskami

18.3 – Model konstrukce s plachtou

Příloha 19 – CD – Soubor s výpočty (excel) – Aerodynamické síly