



**České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta strojní**

## **Bakalářská práce**

**Virtuální testování systémů integrované bezpečnosti**  
**Virtual Testing of Vehicle Integrated Safety Systems**

Autor: Karel Zmek  
Vedoucí práce: Ing. Václav Jirovský, Ph.D.



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Zmek** Jméno: **Karel** Osobní číslo: **491162**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Virtuální testování systémů integrované bezpečnosti**

Název bakalářské práce anglicky:

**Virtual Testing of Vehicle Integrated Safety Systems**

Pokyny pro vypracování:

Zaměřte se na specifické aspekty testování systémů integrované bezpečnosti, které mohou při reakci na vnější situaci interagovat i s řidičem. Využijte principů virtuálního testování pro zrychlení testování především v případě analýzy chování systémů ve stavech mezi dynamickými limity vozidla. V práci se zaměřte na modelování testů v systému IPG CarMaker a nalézání vstupních podmínek pro testování chování systémů v pro vozidlo dynamicky limitních situacích. Zrealizujte parametrizovatelnou simulaci alespoň dvou typů testů a navrhnete experimenty pro určení počátečních podmínek testů pro zjištění chování vozidla na dynamickém limitu v reálném zkušebním prostředí.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Václav Jirovský, Ph.D. 16123**

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

Datum zadání bakalářské práce: **22.04.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13.07.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Ing. Václav Jirovský, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Oldřich Vítek, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## **Poděkování**

V první řadě bych chtěl poděkovat svému vedoucímu Ing. Václavu Jirovskému, Ph.D. za ochotu a podporu při tvorbě této bakalářské práce. V prvních fázích mi umožnil práci tvořit vzdáleně během mého výjezdu do zahraničí v rámci Erasmu, což mi ušetřilo spoustu starostí. Dále pak také za všechny konzultace a nasměrování mého snažení.

Mé díky patří i Ing. Stanislavu Vondráčkovi, za udělení přístupu k licenčnímu serveru programu IPG CarMaker a za každé pohotové vyřešení problému s připojením.

V neposlední řadě bych také rád poděkoval za poskytnuté rady ohledně tvorby samotných simulací Ing. Jakubovi Záhorskému a Ing. Jakubovi Dvořákovi, Ph.D. ze společnosti *TÜV SÜD*.

## **Abstrakt**

Práce se zabývá metodikou testování systémů integrované bezpečnosti osobních automobilů ve virtuálním prostředí. V práci jsou okrajově popsány principy funkce současných asistenčních a bezpečnostních systémů. Práce se zaměřuje zejména na tvorbu simulací tří testů zabývajících se interakcí bezpečnostního systému AEB s reakcí řidiče na vnější situaci. Pro tvorbu modelů testovacích scénářů je využito programu IPG CarMaker. Vytvořené parametrické simulace jsou zrealizovány a vyhodnoceny, na základě čehož jsou stanoveny počáteční podmínky pro provedení reálných testů. Tyto podmínky vycházejí z dynamického limitu vozidla.

## **Abstract**

This bachelor thesis concerns testing methodology of integrated vehicle safety systems in a virtual environment. The thesis mentions the basic principles of current vehicle safety and assistant systems. The main goal of this thesis is to create three test scenarios concerning driver and AEB safety system interaction with an external situation. To create these test scenarios in a virtual environment, the software IPG CarMaker is used. Created parameter simulations are realized and evaluated. Based on the results from the simulations, initial conditions for the real tests are set. The conditions come from dynamic state limits for the tested vehicle.

## **Klíčová slova**

Virtuální testování, IPG CarMaker, systémy integrované bezpečnosti, ADAS, AEB, simulace, interakce ADAS s řidičem, jízdní dynamika

## **Key Words**

Virtual testing, IPG CarMaker, integrated safety systems, ADAS, AEB, simulation, interaction between ADAS and driver, driving dynamics

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: “ Virtuální testování systémů integrované bezpečnosti” vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v kapitole reference.

V Praze dne: .....

.....  
Podpis

# Obsah

1	Úvod.....	9
2	Advanced Driver Assistance Systems (ADAS).....	10
2.1	Rozdělení ADAS dle stupně automatizace .....	10
3	Podrobný popis funkce vybraných asistenčních a bezpečnostních systémů .....	11
3.1	Systémy aktivní bezpečnosti vozidel .....	11
3.2	Asistenční systémy .....	13
3.3	Zařízení potřebná k implementaci asistenčních a bezpečnostních systémů do vozidla.....	14
3.3.1	Senzory zajišťují detekci objektů.....	15
4	Projekt PEGASUS .....	16
4.1	Přístup vytváření metodiky testování systémů automatizovaného řízení .....	16
4.2	Dílčí kroky k sestavení postupu testování a validace ADAS.....	16
4.2.1	Analýza scénářů a stanovení požadované kvality.....	16
4.2.2	Implementační procesy .....	17
4.2.3	Testování.....	17
4.2.4	Vyhodnocení testů a jejich výsledků .....	18
5	CarMaker – software pro vývoj a virtuální testování osobních vozidel .....	19
6	Zpracované testovací scénáře .....	20
6.1	Popis, předpoklady a předměty vyhodnocení testovacích scénářů .....	20
6.2	Varianty testovacích scénářů.....	22
6.2.1	S01-1Z .....	22
6.2.2	S01-2Z .....	23
6.2.3	S02-1Z .....	24
7	Tvorba testovacích scénářů v programu CarMaker .....	25
7.1	Tvorba prostředí .....	25
7.1.1	Specifika jednotlivých testovacích scénářů .....	25
7.2	Volba a úprava testovaného vozidla .....	26
7.3	Stanovení jízdních manévrů .....	30
7.3.1	Úhybný manévr.....	30
7.3.2	Načasování úhybného manévru při variantě s pohyblivou překážkou .....	32
7.3.3	Rozjezd a držení rozestupu mezi vozidly .....	36
7.4	Optimalizace simulace .....	38
7.4.1	Validace .....	38
7.5	Provedení testování .....	39

8	Vyhodnocení virtuálního testování.....	40
8.1	S01-1Z.....	40
8.1.1	Rychlost testovaného vozidla: 20 km/h.....	40
8.1.2	Rychlost testovacího vozidla: 40 km/h.....	44
8.1.3	Rychlost testovacího vozidla: 70 km/h.....	47
8.2	S01-2Z.....	50
8.2.1	Rychlost testovacího vozidla: 20 km/h.....	51
8.2.2	Rychlost testovacího vozidla: 40 km/h.....	53
8.2.3	Rychlost testovacího vozidla: 70 km/h.....	56
8.3	S02-1Z.....	59
8.3.1	Rychlost testovaného vozidla: 50 km/h.....	59
8.3.2	Rychlost testovaného vozidla: 90 km/h.....	62
8.3.3	Rychlost testovaného vozidla: 130 km/h.....	65
8.4	Vyhodnocení testů jako celku.....	68
9	Návrh podmínek reálných testů a validace získaných výsledků ze simulace.....	70
10	Závěr.....	72
10.1	Práce do budoucna.....	72
11	Reference.....	73
12	Seznam obrázků.....	76
13	Přílohy.....	78
13.1	Přílohy na CD.....	78



# 1 Úvod

Systémy integrované bezpečnosti se stávají běžnou součástí výbavy nových vozidel. Mezi tyto systémy je možné řadit funkce jako jsou například hlídání mrtvého úhlu nebo automatické nouzové brzdění (AEB). Takové systémy mohou významným způsobem napomáhat k bezpečnější dopravě na silnicích [1].

S narůstající provozem rostou také nároky na řidiče. Ti pak bývají často zahlceni informacemi a složitostí různých dopravních situací, i sebemenší nepozornost nebo chyba může vyústit v nehodu. Výzkumy ukazují, že až u 95 % nehod hraje roli selhání člověka, nikoliv však pouze řidiče. Asistenční systémy mohou být jakousi pojistkou při selhání řidiče, mohou jej podporovat při konkrétních úkonech nebo v budoucnu plně převzít jeho roli. [2]

Rychlost, kterou jsou dnešní vozidla schopna se komfortně pohybovat je nesrovnatelná se situací například před 20-30 lety. Jedná se o poměrně subjektivní faktor, nicméně stabilita vozidla, hluk v něm a tím pádem i celková izolovanost posádky od okolí je čím dál větší. To sebou nese zvyšování cestovní rychlosti. I přes to, že vozidla jsou obecně lépe ovladatelná, reakční doba člověka zůstává stejná. V krizové situaci pak může být asistenční systém, který je schopen zareagovat a provést zásah do řízení rychleji než člověk, velmi přínosný.

Pro zavedení pokročilých asistenční systému do vozidel pohybujících se v běžném provozu je především nutné ověření jejich správné funkce. Ne však pouze správná funkce je tím, co by mělo být ověřováno. Jak bylo zmíněno výše, systém může reagovat rychleji a intenzivněji než běžný řidič. Za předpokladu, že ne každé vozidlo v provozu je vybaveno asistenčními systémy, může při náhlé aktivaci například systému automatického nouzového brzdění nastat nová, neočekávaná a nebezpečná, situace pro ostatní účastníky provozu.

K ověření jak již správné funkce, tak dopadu na okolní provoz je nutné vytipování konkrétních dopravních situací, při kterých by systém mohl být aktivován. Takových situací může být obrovské množství, proto je ověření každé jednotlivé z nich velmi náročné. Pro usnadnění tohoto procesu přichází do hry virtuální parametrické testování. Právě touto metodou testování se bude zabývat tato práce.

V rámci této práce budou tedy přiblíženy funkce některých systémů integrované bezpečnosti v osobních automobilech a metodiky jejich testování. Bližší pohled bude věnován tvorbě simulace konkrétní sady testů ověřující dopad systému automatického brzdění při úhybném manévru na okolní provoz a jízdní dynamiku samotného vozidla. Výsledky simulací budou následně vyhodnoceny a bude navržen způsob jejich validace pomocí reálných testů.

## 2 Advanced Driver Assistance Systems (ADAS)

V překladu pokročilé asistenční systémy řidiče, jsou systémy navrženy tak, aby určitým způsobem pomáhali řidiči s ovládáním vozidla. Jejich primárním cílem je zjednodušit a zbezpečnit jízdu ve vozidle. Tohoto cíle je dosahováno od prosté informace, která je řidiči poskytnuta, až po přímý zásah do řízení. Míra zásahu do řízení závisí na stupni automatizace příslušného systému dané normou *SAE J3016*. [2] [3]

### 2.1 Rozdělení ADAS dle stupně automatizace

Na základě automatizace řízení je možné systémy rozdělit do 5 kategorií. Jak již bylo zmíněno, rozdělení definuje norma *SAE J3016*. V tabulce 1 je možné toto rozdělení vidět. [3]

Tabulka 1 - Rozdělení asistenčních systémů dle stupně automatizace [3]

0	<b>No Driving Automation</b>	Podání informace, okamžitá asistence	Řízení vozidla je kompletně v rukou řidiče	AEB FCW LDW
1	<b>Driver Assistance</b>	Automatizace v příčném nebo podélném směru	Řidič musí stále dohlížet a být kdykoli schopen převzít kontrolu nad vozidlem	ACC nebo LKA
2	<b>Partial Driving Automation</b>	Automatizace v příčném a podélném směru		ACC a LKA
3	<b>Conditional Driving Automation</b>	Systém je schopen automatizovaného řízení, pokud jsou splněny požadované podmínky	Řidič musí být schopen převzít kontrolu, pokud je vyzván	Asistence jízdy v koloně
4	<b>High Driving Automation</b>		Řidič nemusí zasahovat do řízení	Lokální bezpilotní taxi na vyhovující vozovce
5	<b>Full Driving Automation</b>			Jako 4, ale kdekoliv na vyhovující vozovce

## 3 Podrobný popis funkce vybraných asistenčních a bezpečnostních systémů

Na trhu je více společností zabývajících se vývojem senzorů a asistenčních systémů, princip fungování bývá ale v základu velice podobný. Řadí se mezi ně například *Robert Bosch GmbH*, *Valeo SA*, *Continental AG* nebo *Delphi Automotive Company*. Při této práci bylo čerpáno především z webových stránek *BOSCH MOBILITY SOLUTIONS* z důvodu jejich přehledného a výstižného zpracování s přímými odkazy na souvislosti mezi konkrétním systémem a hardwarem.

### 3.1 Systémy aktivní bezpečnosti vozidel

#### Anti-lock Braking System (ABS)

ABS tvoří naprostý základ bezpečnostních systému současných vozidel. Jeho součástí jsou senzory rychlosti otáčení jednotlivých kol, hydraulická pumpa a ventily kontrolující tlak v brzdové soustavě. Při prudkém brzdění, kdy systém zaznamená, že by se mělo některé z kol zastavit a přejít do smyku, zmírní účinek jeho brzdění. Poté co se kolo opět začne otáčet, opět zvýší tlak, a tím i brzdný účinek. Tento proces je systém schopen opakovat až 40krát za sekundu. [4]

#### Electronic Stability Program (ESP)

Obdobně jako ABS ani ESP není řazen do skupiny ADAS, opět bude alespoň částečně uveden princip jeho fungování.

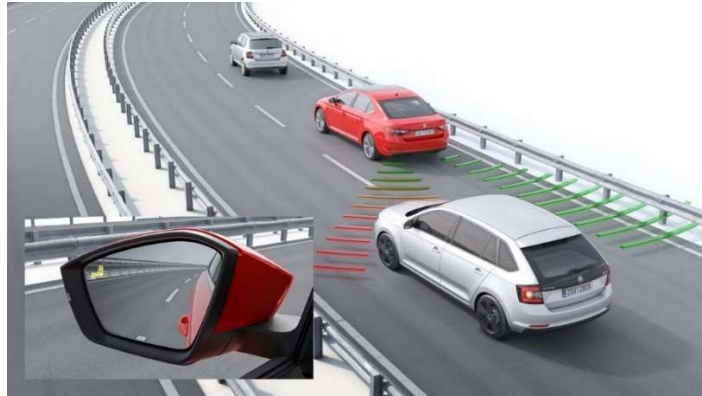
ESP slouží k stabilizaci vozidla a předejití nežádoucímu smyku, jedná se o efektivní podporu pro řidiče při manévrech v krizových situacích, kdy mu pomáhá udržet vozidlo pod kontrolou. [5]

Vyhodnocován je požadovaný směr jízdy, na základě dat ze senzoru natočení volantu. Tato data jsou porovnávána s hodnotami z tzv. „Inertial Measurement Unit“ (snímá například boční zrychlení, natočení vozidla, ...). Systém je schopen zasáhnout například přibrzděním jednoho z kol a tím tak korigovat nežádoucí smyk. Spojuje a využívá funkce ABS a kontroly trakce (TC). [5]

## Blind Spot Detection (BSD)

V češtině tzv. „mrtvý úhel“ je oblast v bezprostřední blízkosti za vozidlem, která není pokryta zpětnými zrcátky, v některých případech je tedy možné, že řidič přehlédne celé vozidlo, jež se nachází v této oblasti. [6]

Ultrazvukové senzory nebo boční (rohový) radar jsou schopny vozidlo detekovat a systém podá následně varování řidiči například rozsvícením varovné ikony v rohu postranního zpětného zrcátka. [6]

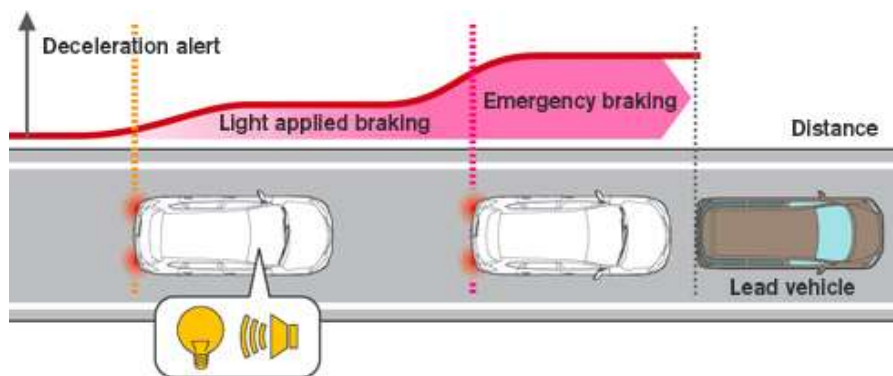


Obrázek 1 - Ukázka funkce systému hlídání mrtvého úhlu (BSD) [7]

## Automatic Emergency Braking (AEB)

Funkce automatického brzdění má za úkol předejít kolizi nebo zmírnit její následky. Pomocí senzorů umístěných na vozidle detekuje překážku a pokud vyhodnotí, že se k ní vozidlo nebezpečně přibližuje, varuje řidiče pomocí funkce *Front Collision Warning (FCW)* eventuelně krátkým přibrzděním. Následně systém sníží rychlost vozidla lehkým brzděním, přičemž dá řidiči potřebný čas k zareagování. V momentě, kdy řidič zahájí brzdění, je systém schopen nadále monitorovat situaci a vyhodnocovat, zda je brzdný účinek dostatečný pro předejití kolizi. Za předpokladu, že řidič nebrzdí dostatečně nebo vůbec je systém schopen aplikovat maximální brzdovou sílu. [8]

Scénáře, při kterých AEB pomáhá předejít kolizi jsou například zadní náraz, srážka s vozidly v křižovatce, které křižují cestu, srážka při odbočování s protijedoucím vozidlem, srážka při výjezdu z parkovacího místa, ale také předejití srážky s chodcem či cyklistou. [8] [9]



Obrázek 2 - Ukázka funkce systému AEB [10]

## 3.2 Asistenční systémy

### Lane Keeping Assist (LKA)

Tento systém využívá detekční kameru k rozpoznání značení pruhů. Pokud se vozidlo přibližuje k hranici pruhu, systém zasáhne (u vozidel s elektronickým řízením mírně zatočí a u vozidel bez něj využije funkce ESP k přibrzdění kol na jedné straně). V každém okamžiku má řidič možnost tento systém „přetlačit“ a převzít kontrolu nad vozidlem. [11]

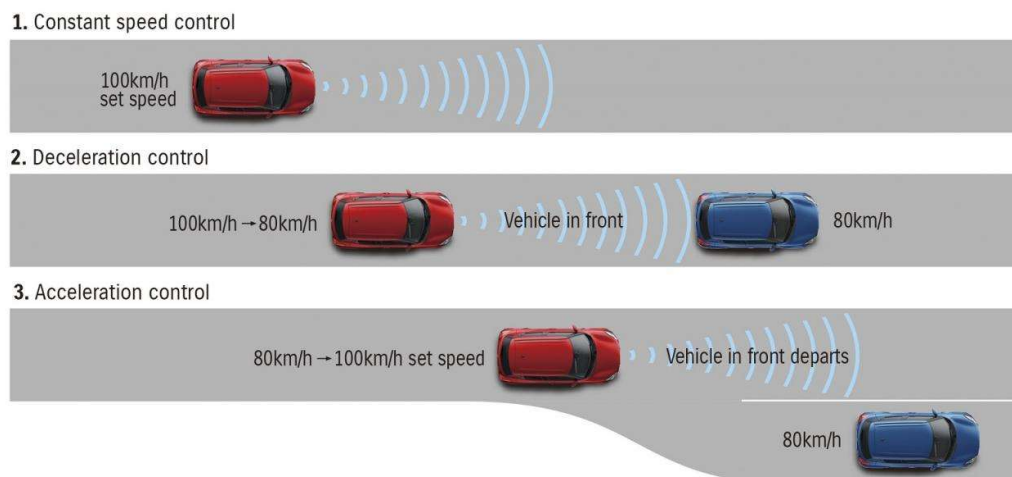
Podobnou funkcí je také Lane Departure Warning, kdy vozidlo není schopno se v pruhu samo držet, nicméně při jeho neočekávaném opouštění (pokud řidič například nespustí blinkr) vydá varování, že pruh opouští. [12]

### Adaptive Cruise Control (ACC)

Adaptivní tempomat využívá především radarového senzoru umístěného v přední části vozidla. Vozidlo udržuje řidičem nastavenou rychlost, dokud je prostor před ním prázdný. V momentě, kdy se před ním objeví pomalejší vozidlo, je systém schopen mu plynule přizpůsobit rychlost, a to pomocí ubrání plynu nebo aplikováním brzd. Jakmile vozidlo před ním zrychlí nebo odbočí do jiného pruhu, ACC opět zrychlí na původní nastavenou rychlost. [13]

Standardní systémy fungují od 30 km/h, dále existují ale i tzv. „stop and go“ ACC, které podle okolní dopravy jsou schopny zastavit a znovu se rozjet. [13]

Přínosem adaptivního tempomatu je předejití tzv. rear-end kolizím udržováním bezpečné vzdálenosti, ale také zvýšení komfortu a plynulosti dopravy. [13]



Obrázek 3 - Ukázka funkce systému ACC [14]

## Čtení dopravního značení

System pomocí detekční kamery a příslušného algoritmu rozpoznává značení a následně pomocí ikon zobrazuje platná omezení či maximální povolenou rychlost na palubním displeji. [15]

Umožňuje řidiči udržet si lepší přehled o aktuálně platných omezeních a rychlostních limitech. [15]

### 3.3 Zařízení potřebná k implementaci asistenčních a bezpečnostních systémů do vozidla

Pokud má být vozidlo vybaveno asistenčními systémy které zásadně zasahují do řízení, znamená to, že je zapotřebí kontinuálně zjišťovat informace jak o samotném stavu vozidla, tak o stavu prostředí, případně také posádky. Na základě těchto informací systém vyhodnocuje adekvátní reakce na aktuální situaci, ve které se vozidlo právě nachází.

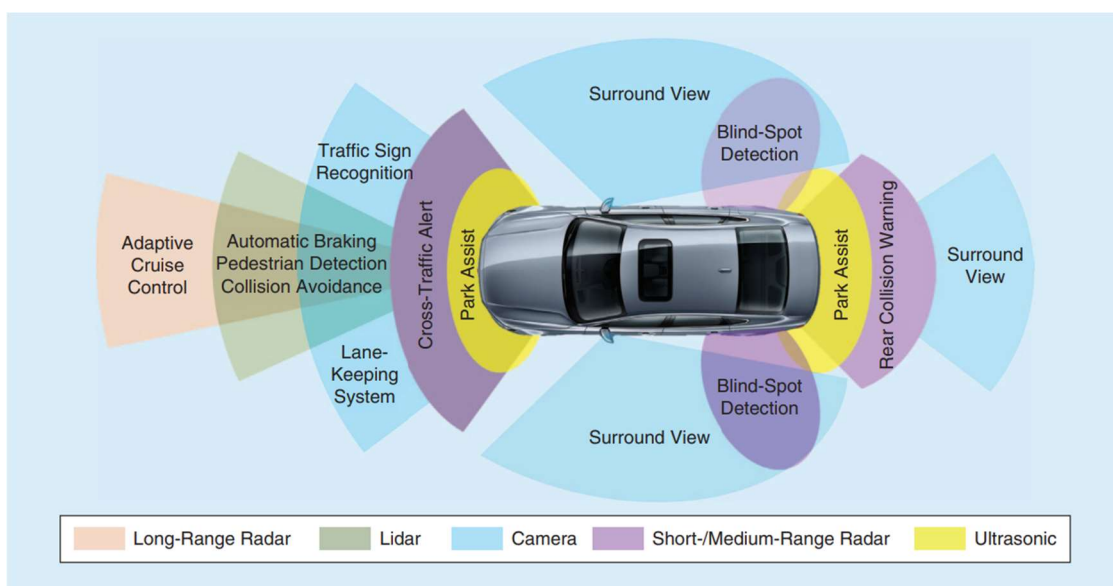
Klíčová informace pro bezpečnostní systémy o okolním prostředí je především schopnost rozpoznat objekty ležící v trajektorii vozidla nebo i ty mimo ni, které by se potenciálně mohly do trajektorie dostat. Dále pak také podmínky, v jakých se vozidlo nachází, například intenzitu deště nebo dopravní značení.

Zásadními informacemi o stavu samotného vozidla jsou jeho rychlost, náklon karoserie, relativní rychlost otáčení jednotlivých kol, ale také třeba okamžitý poskytovaný výkon motoru.

Ve spojitosti s posádkou je možné mluvit o zjišťování počtu obsazených míst ve vozidle, senzorů zapnutí pásů nebo senzoru únavy řidiče.

Parametrů, které je vozidlo schopné měřit je samozřejmě velké množství, výše uvedený výčet je především z hlediska důležitosti pro správnou funkci asistenčních systémů.

V další části budou popsány typy senzorů a jejich technologie, kterými je možné výše zmíněné parametry měřit. Znázornění jejich rozmístění a účel je znázorněn na obrázku 4.



Obrázek 4 - Znázornění rozmístění senzorů ve vozidle a jejich oblasti detekce [16]

### **3.3.1 Sensory zajišťují detekci objektů RADAR (Radio Detection and Ranging)**

Radar pracuje na principu vyzařování elektromagnetického vlnění do prostředí, které se odráží od objektů. Odraz je následně zachycen a zpracován. Zařízení tak umožňuje určit pozici objektů, jejich rychlosti a směr pohybu. [17]

Long-Range Radary jsou díky svému dosahu, který může být 200 až 300 metrů vhodné pro použití do systémů jako je AEB a ACC. Například radar od společnosti Bosch pracuje na frekvenci 76–77 GHz. Je schopen určit vzdálenost s přesností 0,2 m a rychlost s přesností 0,1 m/s. Zorný úhel v horizontálním směru činí  $\pm 60^\circ$  a ve vertikálním  $\pm 15^\circ$ . [18]

### **LIDAR (Light Detection and Ranging)**

Obdobně jako radar pracuje i lidar na principu vyzařování elektromagnetického vlnění, konkrétně vlnění NIR (*near infra-red – o vlnové délce cca 905 nm*). Vyzařované laserové paprsky se odráží od objektů a následně se vracejí zpět k senzoru, který je zaznamenává. Lidar vytváří prostorový obraz bodů (*point cloud*), které odpovídají skenovanému prostředí. [19]

Oproti radarům mají lidary nižší vzdálenost detekce, to souvisí s vlnovou délkou vysílaného signálu. Také jsou náchylnější na rušení při použití například v dešti či mlze. [20] [21]

Konkrétní příklad v současnosti používaného lidaru od společnosti Valeo, SCALA gen. 2, nabízí obnovovací frekvenci 25 Hz (tedy 25 „skenů“ za 1 sekundu). Jeho zorný úhel v horizontální směru činí  $133^\circ$  a ve vertikálním  $10^\circ$ . Jeho schopnost detekce objektů je omezena na vzdálenost 150 m. [20]

### **Kamerový systém**

Víceúčelová kamera využívá k detekci objektů a vizualizaci prostředí videozáznam složený z jednotlivých snímků, které zpracovává softwarový algoritmus nebo umělá inteligence. Víceúčelová kamera je tak schopna rozeznat vozidla, cyklisty nebo chodce a zároveň ze snímků pomocí sledování jednotlivých pixelů a jejich toku určit 3D reprezentaci prostředí. Systém je také schopen rozpoznávat dopravní značení, což radar ani lidar nedokáže. Detekce objektů víceúčelovou kamerou od společnosti Bosch je možná do vzdálenosti 150 m. Horizontální zorný úhel činí  $\pm 50^\circ$  a vertikální  $+27^\circ/-21^\circ$ , rozlišení záznamu kamery je v tomto případě 2048x1280 pixelů se snímkovou frekvencí 45 fps. [22]

### **Ultrazvukové senzory**

Ultrazvukové senzory slouží především k detekci objektů na krátkou vzdálenost, například při parkování. Vysílá ultrazvukové vlny, které se odráží od objektů. Bývají zabudovány v předních a zadních náraznících a vozidlo je zpravidla vybaveno několika takovými senzory pro pokrytí požadované oblasti. Senzor od společnosti Bosch je například schopen detekovat objekty od vzdálenosti 15 cm do 5,5 m s přesností na 15 cm. [23]

## 4 Projekt PEGASUS

### 4.1 Přístup vytváření metodiky testování systémů automatizovaného řízení

Testování systémů automatizovaného řízení se zabývá například projekt s názvem PEGASUS, kterému se budu v této práci blíže věnovat. Jedná se o projekt podporovaný německým spolkovým ministerstvem hospodářství a energetiky. Za cíl si klade překonat mezery v testování a tím tak čelit největšímu problému zavádění vozidel s funkcemi automatizovaného řízení do provozu, tedy způsobu a kritériím jeho validace. [24]

V současné době by se totiž dalo říci, že je splněn předpoklad technických požadavků, nicméně to, co implementaci těchto systémů do běžného provozu brzdí, jsou právě otázky jako například: Co přesně se vyžaduje od správné funkčnosti takového systému? Jak je možné jeho správnou funkci, spolehlivost a bezpečnost prokázat? Přenos odpovědnosti z člověka na „stroj“? [24]

Písmena v názvu projektu jsou zkratkou pro popis jeho poslání:

*Project for the Establishment of Generally Accepted quality criteria, tools and methods as well as Scenarios and Situations for the release of highly-automated driving functions* [24]

V překladu:

*Projekt pro vytvoření obecně akceptovaných kritérií kvality, nástrojů a metod, jakož i scénářů a situací pro zavedení vysoce automatizovaných funkcí řízení*

Projekt spojuje společnosti napříč automobilovým průmyslem spolu s výzkumnými zařízeními, aby společně definovaly obecně uznávaný a standardizovaný postup testování a schvalování. Příklady zúčastněných společností (kterých je celkem 17): Audi AG, BMW Group, Volkswagen AG, IPG Automotive, TÜV SÜD Auto service GMBH, Robert Bosch GMBH, ... [24]

### 4.2 Dílčí kroky k sestavení postupu testování a validace ADAS

#### 4.2.1 Analýza scénářů a stanovení požadované kvality

První dílčím krokem je proces stanovující požadavky na příslušný asistenční systém. Zahrnuje metody určování podstatných scénářů a jejich analýzu. Je možné využívat například statistiky o nehodách k vytipování kritických situací a jejich příčin. Tyto situace jsou následně zaneseny do databáze standardizovaných testů, které by měly umožnit systematické testování jak ve virtuálním, tak v reálném prostředí. Posuzovaným kritériem je především výkon člověka v porovnání s výkonem „stroje“ (příslušného asistenčního systému). [24]

Primárním cílem je tedy měřitelným způsobem stanovit schopnosti člověka v konkrétní situaci, které jsou následně použity jako minimální základ pro to, co by měl autonomní systém zvládnout. Výstup následně slouží jako podklad pro další dílčí kroky. [24]



*Poznámka:*

*V této práci bude zpracován test, při kterém dochází ke kombinaci zásahu asistenčního systému současně se zásahem řidiče. Posuzována bude schopnost systému umožnit tento zásah řidiči a nevytvořit kritičtější situaci pro okolní provoz. Jedná se o doplňující test, který již počítá se správnou funkcí asistenčního systému dle jeho výrobce a bude se spíše jednat o nalezení limitů takového systému a případné vytvoření podkladů pro zlepšení při dalším vývoji. Zpracované testovací scénáře ověřují tzv. „false positives“ [24]*

#### **4.2.2 Implementační procesy**

Předmětem zájmu je analýza již existujících a zavedených procesů v automobilovém průmyslu a návržení implementace nových metod pro jejich minimálním narušení. Je důležité, aby implementace byla flexibilní a zohledňovala současné vývojové procesy vozidel. Nezbytné změny současných procesů závisí mimo jiné také na stupni automatizace řízení. [24]

Implementační procesy analyzují celé spektrum vývoje od změn v testování na speciálních tratích přes testy v reálném provozu až po finální použití konečným zákazníkem. [24]

#### **4.2.3 Testování**

Pracuje se s předpokladem správně vytvořeného podkladu v podobě souboru systematických testů, které dostatečně pokrývají veškeré relevantní scénáře. Cílem je vytvoření funkční souhry více přístupů testování (virtuální, laboratorní, v reálném cvičném prostředí i v reálném provozu) a zodpovědět, co je předmětem zkoumání a co má být tedy vyhodnoceno. [24]

S rostoucím stupněm automatizace významně roste také počet testovacích scénářů, které je potřeba ověřit. Jejich počet, důraz na opakovatelnost a vysoké množství zohledňovaných parametrů má za následek, že je obtížné veškeré testy vykonávat v reálném prostředí. Simulace neboli testování ve virtuálním prostředí tvoří v dnešní době již nedílnou součást vývojového a validačního procesu. Cílem je vytvořit spolehlivé metody virtuálního testování kvalitou srovnatelné s realitou. [24]

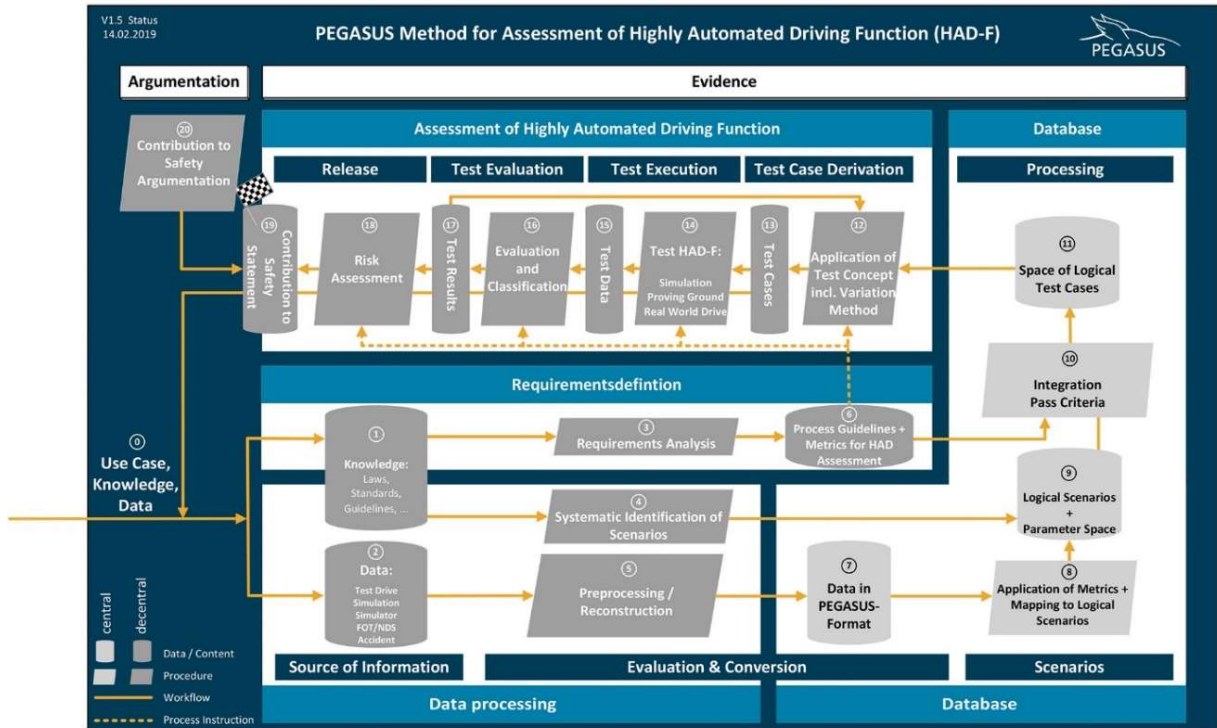
Každý virtuální model, testovaný scénář a jeho výsledek však musí být nějakým způsobem vhodně ověřen. V praxi to znamená, že se k validaci nových systémů nelze zcela spoléhat pouze na výsledky z virtuálního testování. Ty mohou sloužit jako jakási identifikace kritických situací, které je následně třeba ověřit reálným testem. Simulace však mohou pomoci právě v pracně a časově náročné identifikaci těchto limitních situací. [24]

Obrovské množství testů si žádá vytvořit přehlednou databanku výsledků, která disponuje přehledným automaticky čitelným formátem. Díky tomu by mělo být možné rozřazovat testy do kategorií dle pravděpodobnosti výskytu nebo dle významnosti z hlediska nebezpečnosti. [24]

#### 4.2.4 Vyhodnocení testů a jejich výsledků

Závěrečným krokem je vyhodnocení samotných testů, jejich výsledků, ale i reflexe na testy samotné. Je třeba mít na paměti a ověřovat, zda testy správným a efektivním způsobem dokládají bezchybnost funkcí požadovaných od příslušných systémů a zda jsou vhodné k využití při sériové výrobě automobilů v průmyslu. Důležité je tak dbát na podobnost, porovnatelnost a opakovatelnost jednotlivých testů. [24]

Na obrázku 5 je možné vidět schéma metodiky projektu PEGASUS na posuzování funkce ADAS, která je popsána výše.

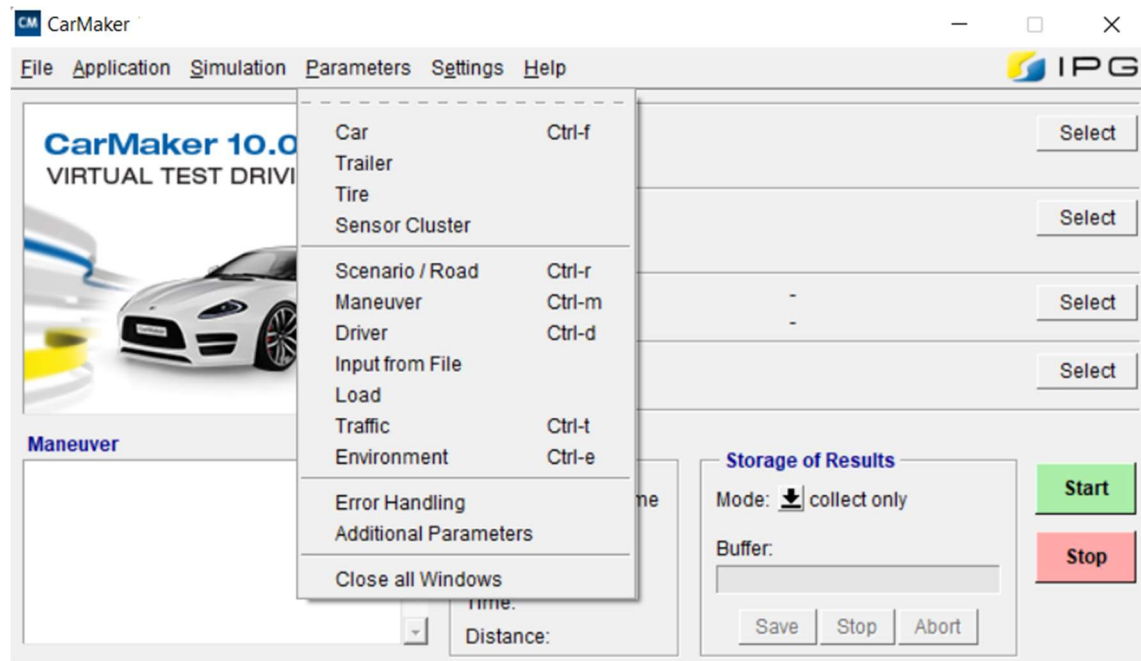


Obrázek 5 - Metodika posuzování funkčnosti ADAS [24]

## 5 CarMaker – software pro vývoj a virtuální testování osobních vozidel

CarMaker je software od německé společnosti IPG Automotive. Je zaměřen na podporu vývoje osobních automobilů a lehkých užitkových vozidel. Umožňuje vozidla testovat ve virtuálním prostředí v průběhu jejich vývoje. [25]

V tomto softwaru je možné modelovat každý jednotlivý komponent vozidla dle vlastních požadavků, a to včetně prvků ADAS. Je tedy možné přesně nadefinovat jízdní dynamiku a celkové chování vozidla. [25]



Obrázek 6 - Ukázka úvodního okna CarMakeru, otevřená záložka „Parameters“

Nástroje modelování prostředí umožňují vytvořit realistické testovací úseky. Je možné přidat dopravní značení, bariéry, objekty mimo vozovku nebo například import kartografických dat, dále pak také zavést do vytvořeného prostředí libovolný provoz. [25]

Software nabízí nadefinování manévru, které má vozidlo provést, nebo „inteligentního virtuálního řidiče“ s možností volby jízdního stylu (defenzivní, běžný, agresivní), ten je schopen reagovat na okolní provoz a pravidla silničního provozu. [25]

Smyslem virtuálního testování je co nejvíce zefektivnit testovací proces. CarMaker nabízí automatizaci testování pomocí vbudovaného Test Manageru nebo pomocí propojení s programem Python API. [25]

Výstupem každé simulace testovaného scénáře jsou určitá data. Velké množství dat popisující chování vozidla a jeho systémů je možné sledovat během průběhu testování, extrahovat je nebo s nimi pracovat v aplikacích třetích stran. [25]

## 6 Zpracované testovací scénáře

Primárním cílem přesunutí významné části testovacího procesu do virtuálního prostředí je efektivnější nalezení konkrétních konfigurací testů pro reálné provedení v dynamicky limitních stavech vozidla. To znamená, že teoreticky bude v reálném prostředí možné provádět pouze výběr testů za limitních podmínek a vše mezi těmito podmínkami bude možné realizovat virtuálně. V praxi je ale nutné počítat také s nepřesností modelu a odlišným chováním systémů i v jiných než limitních stavech. Je tedy proto nutné zrealizovat další užší výběr podmínek lišících se od těch limitních pro korektní validaci virtuálního modelu.

### 6.1 Popis, předpoklady a předměty vyhodnocení testovacích scénářů

Testy zpracované v rámci této práce vychází z disertační práce pana doktora Václava Jirovského a jsou v ní uvedeny pod názvy T03-A/B/C. Jedná se o test složený ze 3 subtestů přičemž vše je vyhodnoceno jako celek. Záměrem těchto testů je ověřit, zda a jakým způsobem dojde k interakci autonomního zásahu vozidla se záměrem řidiče provést úhybný manévr a jak tato případná interakce ovlivní okolní provoz. [26]

Úhybný manévr vychází z normovaného testu ISO 3888-2. Jakožto autonomní zásah je v tomto případě myšlena funkce automatického nouzového brzdění (AEB). [26]

V rámci této práce jsou testy poupraveny a je přidáno více variant. Na základě úprav a přidání variant bylo vytvořeno nové vlastní značení jednotlivých subtestů.

#### SXX-YZ

- XX – číselný název testu
  - o 01 = statická překážka umístěna v konkrétním bodě testovacího úseku
  - o 02 = pohybující se překážka s rozjetím z místa na předepsanou rychlost
- Y – přítomnost vozidla jedoucího před testovaným vozidlem (stínící radar)
  - o 1 = bez vozidla jedoucího v předu
  - o 2 = s vozidlem jedoucím v předu s předepsaným rozestupem
- Z – varianta testu zohledňující míru autonomního zásahu (AEB)
  - o A = vyhnutí se bez přítomnosti AEB
  - o B = vyhnutí se při spuštěné funkci AEB
  - o C = bez vyhnutí se, úplné zastavení v režii funkce AEB

Všechny provedené testy pracují s variantou „A“ jako výchozím stavem. Znamená to, že testy jsou postaveny na základě normy ISO 3888-2 a průjezd vozidla není nijak ovlivněn systémem AEB. Varianty „B“ a „C“ se následně liší mírou zásahu AEB, samotná konfigurace testu však zůstává nezměněna. Tento předpoklad zajišťuje vzájemnou porovnatelnost testů a následné vyhodnocení jako celku.

Výstupem testu je posouzení rozestupu mezi vozidlem testovaným a vozidlem jedoucím za ním s bezpečným rozestupem 2 s a s minimálním dovoleným rozestupem funkce ACC 0,5 s. Toto vozidlo není v simulacích ani v testech přítomno, ale je s ním pracováno jako s virtuálním. Jeho dráha je zanesena do výsledných grafů s předpokladem, že jede konstantní rychlostí a před začátkem manévru udržuje stanovený rozestup.

Dalším posuzovaným faktorem je míra zásahu systému AEB do řízení. Konkrétněji, zda systém AEB je řidiči nápomocen, nebo naopak vytvoří nebezpečnější situaci. To může být například posouzeno při jaké vstupní testovací rychlosti je řidič ještě schopen provést úhybný manévr bez a se systémem AEB.

Oba posuzované faktory mohou jít proti sobě například tím, že čím více systém AEB zbrzdí vozidlo, tím snazší je pro řidiče úhybný manévr, nicméně tím více je negativně ovlivněno vozidlo jedoucí za testovaným vozidlem.

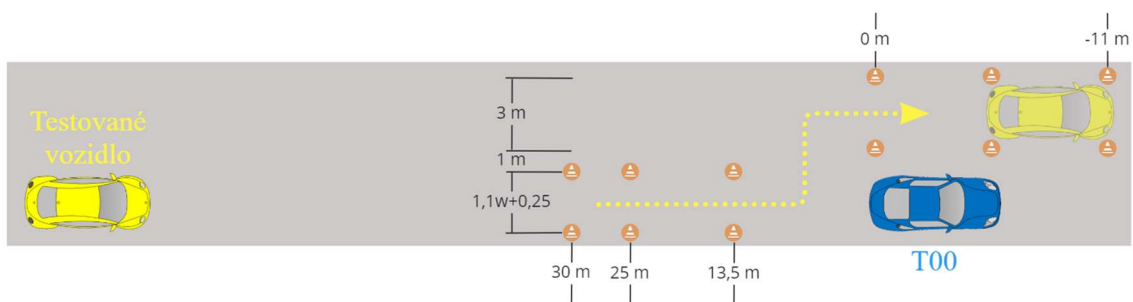
Testy jsou vyhodnoceny jako neúspěšné, pokud dojde ke kolizi testovaného vozidla s překážkou nebo testované vozidlo při dané rychlosti není schopno projet vytyčenou trasou.

## 6.2 Varianty testovacích scénářů

### 6.2.1 S01-1Z

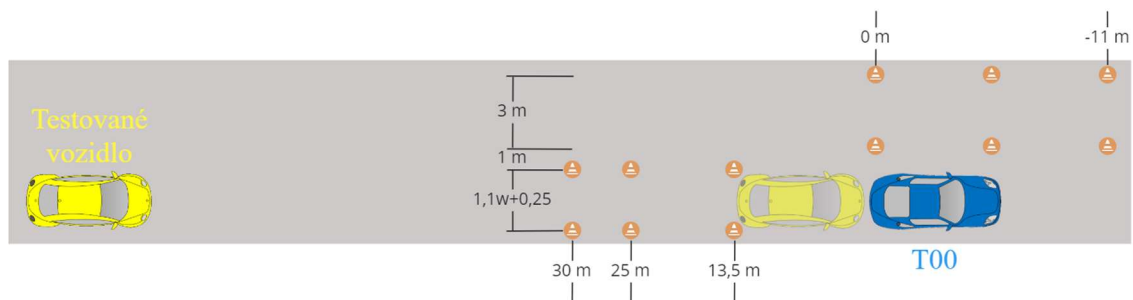
V první sadě testovacích scénářů přijíždí testované vozidlo (žluté) předepsanou rychlostí ke statické překážce (modré vozidlo). Testovací rychlosti jsou 20, 30, 40... až 70 km/h. Uvedený rozsah rychlostí vyplývá z předpokladu, že tento scénář nastane v městském provozu případně ne za plné (dovolené) rychlosti mimo obec. Východiskem pro volbu spektra testovacích rychlostí jsou pravidla silničního provozu ČR. Překážka je dobře viditelná a sensorům vozidla nebrání nic v její detekci.

Na obrázku 7 je naznačeno schéma testovacího úseku. Úkolem řidiče testovaného vozidla (žluté) je přiblížit se k překážce předepsanou rychlostí a ve vzdálenosti 13,5 m od překážky provést úhybný manévr do vedlejšího pruhu. Vozidlo by při průjezdu nemělo narazit do překážky ani do některého z rozmístěných kuželů.



Obrázek 7 - Schéma testovacího scénáře S01-1A/B

Při variantě testu „C“ testované vozidlo neprovede úhybný manévr, ale zastaví za překážkou. Zastavení je provedeno bez zásahu řidiče, pouze aktivací funkce AEB na základě správné detekce překážky.

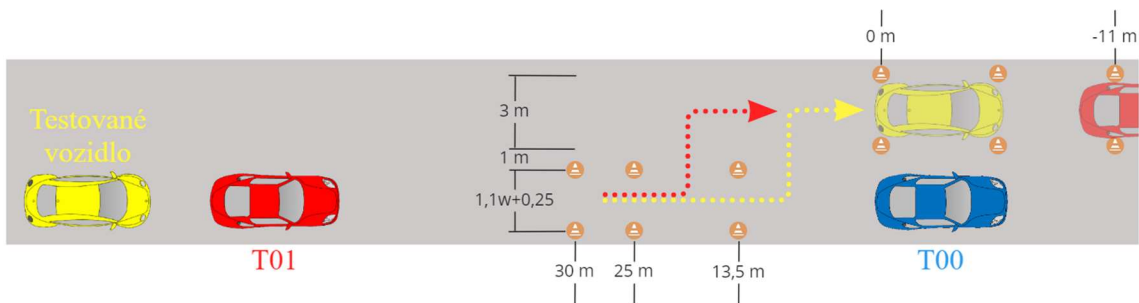


Obrázek 8 - Schéma testovacího scénáře S01-1C

### 6.2.2 S01-2Z

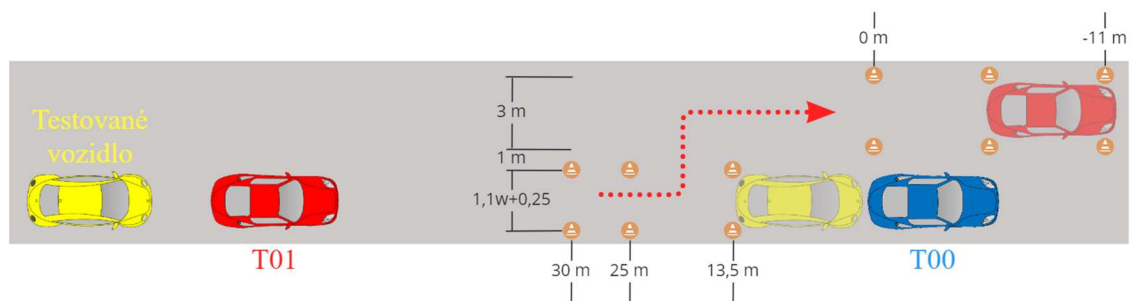
Druhá sada testů je téměř shodná s tou první pouze s tím rozdílem, že senzory testovaného vozidla (žlutého) jsou blokovány dalším vozidlem (červeným) jedoucím před ním. Senzory tedy nedokáží zaznamenat překážku do chvíle, než vozidlo jedoucí vpředu provede úhybný manévr. Počátek úhybného manévru vozidla jedoucího vpředu je předepsán na 25 m od překážky (modrého vozidla).

Prostor pro detekci překážky je dán rozstupem mezi testovaným vozidlem a vozidlem jedoucím před ním. Lze v tomto případě mluvit o dvou variantách, a to o rozestupu 2 s, který je obecně chápán jako doporučený bezpečný a 0,5 s jakožto minimální možná hodnota, kterou lze nastavit v systému ACC. [27]



Obrázek 9 - Schéma testovacího scénáře S01-2A/B

Varianta testu „C“ je opět specifická tím, že testované vozidlo neprovede úhybný manévr, ale dojde k zastavení za překážkou. Zastavení proběhne bez zásahu řidiče pouze pomocí aktivace systému AEB.



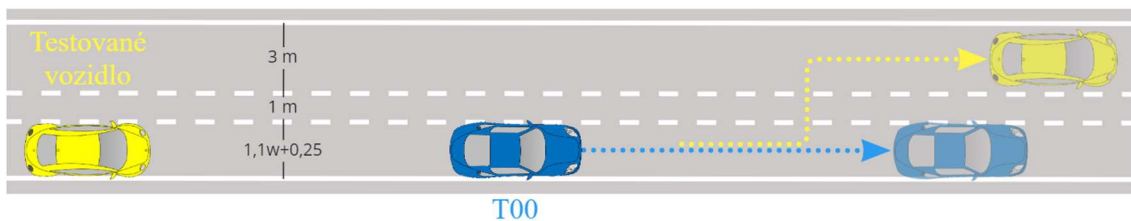
Obrázek 10 - Schéma testovacího scénáře S01-2C

### 6.2.3 S02-1Z

Třetí sada testů je oproti prvním dvěma specifická pohybem překážky. Překážka (modré vozidlo) se pohybuje rychlostí 30 km/h ve stejném pruhu jako testované vozidlo (žluté). Testovací rychlosti jsou 50, 60, 70... až 130 km/h. Tyto testovací scénáře probíhají za vyšších rychlostí, protože je předpokládáno, že pohybující se překážka se může objevit i mimo městské prostředí. Východiskem pro volbu spektra testovacích jsou pravidla silničního provozu ČR.

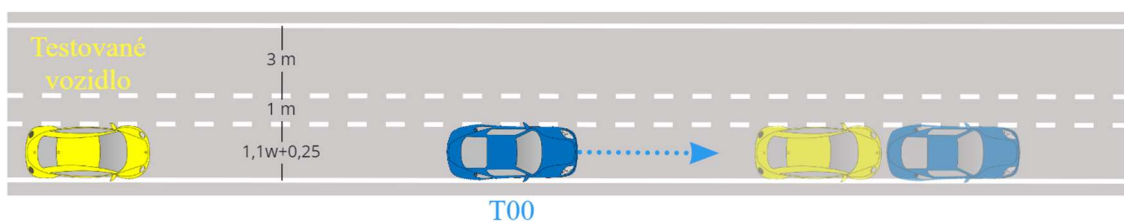
Pro správné provedení testu je nutné počátek manévru posunout směrem k překážce o vzdálenost, kterou překážka během úhybného manévru ujede. Tím je dosaženo zachování původního prostoru pro úhybný manévr, tedy 13,5 m.

Ze schématu na obrázku 11 je patrné, že místo kuželů je šířka pruhů vyznačena podélným značením na vozovce. Dodržení správné vzdálenosti mezi vozidly při úhybném manévru musí být zkontrolováno jiným způsobem (např. následným zpracováním dat ze souboru GPX, přídatného testovacího radaru měřícího vzdálenost od překážky nebo záznamem z kamer)



Obrázek 11 - Schéma testovacího scénáře S02-1A/B

Při variantě „C“ opět nedojde k úhybnému manévru. Testované vozidlo zpomalí/zastaví za překážkou bez asistence řidiče pouze pomocí aktivace systému AEB.



Obrázek 12 - Schéma testovacího scénáře S02-1C



## 7 Tvorba testovacích scénářů v programu CarMaker

Vytvoření testovacího scénáře v programu CarMaker zahrnuje několik dílčích kroků. V první řadě je třeba vytvořit testovací úsek a okolní prostředí. To zahrnuje vozovku, značení, ale také okolní objekty jako budovy, stromy... Vše dle požadavků konkrétního testu. Následuje volba vozidla pro testování. Je možné vytvořit vlastní model vozidla z dostupných a naměřených dat, nebo lze zvolit některé vozidlo z knihovny CarMakeru. Dalším krokem je přidání provozu a nadefinování jízdních manévrů. Následuje odladění samotného testu, aby vše fungovalo dle požadavků. Když simulace funguje správně, je možné přejít k samotnému testování a jeho vyhodnocení.

Přestože jsou si testovací scénáře velice podobné, každá varianta zpracovávaných testů má svá specifika. Postup pro vytvoření těchto scénářů bude však popsán pro všechny vybrané scénáře dohromady, pouze bude poukázáno na příslušné rozdíly.

### 7.1 Tvorba prostředí

Prvním krokem při tvorbě testovacích scénářů v této práci bylo vytvoření virtuálního prostředí. Pro zpracovávané scénáře bylo vyhodnoceno jako zásadní šířka vozovky, rozjezdová délka pro dosažení a stabilizaci testovaných rychlostí. V závislosti na rozjezdové dráze byla též definována vzdálenost, ve které má být umístěna překážka. Ostatní věci, jako je dopravní značení, budovy a další objekty v okolí vozovky nebo například terén, byly vyhodnoceny jako nedůležité z pohledu vlivu na výsledky testu.

Tabulka 2

Parametry testovacího úseku	
Délka testovacího úseku	2 000 m
Počet pruhů	3 pruhy (2,23 m, 1 m a 3 m)
Celková šířka (vycházející ze specifikace testu)	min 6,23 m
Povrch	Suchý asfalt
Součinitel tření	0,85

Testovaná úsek zůstává pro všechny testy stejný, liší se pouze v umístění překážky a počáteční polohy testovaného vozidla, případně dalších vozidel figurujících v testu.

#### 7.1.1 Specifika jednotlivých testovacích scénářů S01-1Z

Pro varianty testu S01-1Z je nutná rozjezdová dráha dostatečná pro dosažení a stabilizaci požadované rychlosti testovaného vozidla. Stabilní rychlost je nutné dosáhnout před aktivací asistenčního systému AEB nebo před zahájením úhybného manévru. Na základě pokusů a hrubého výpočtu s ohledem na zrychlení testovaného vozidla byla tato vzdálenost stanovena jako 300 m.

## S01-2Z

Ve variantě testu S01-2Z dojde k přidání dalšího vozidla jedoucího před testovaným vozidlem, které je označeno „T01“. Toto vozidlo (T01) se pohybuje stejnou rychlostí jako testované vozidlo. Testované vozidlo si udržuje rozestup 0,5, nebo 2 s. Pro přiblížení se k reálnému provedení testu se obě vozidla rozjíždějí z místa, dosahují společně požadovanou rychlost a ustálí si rozestup mezi sebou. Podrobněji je tento proces popsán při návrhu jízdnicích manévrů. Pro stanovení konfigurace testovaného úseku je důležité stanovit potřebné vzdálenosti. Stejně jako pro test S01-1Z je nutná vzdálenost 300 m pro dosažení požadované rychlosti, navíc k tomu je třeba úsek o vzdálenosti 200 m pro stabilizaci rychlosti a bezpečného rozestupu 2 s respektive 0,5 s. Celková délka dráhy potřebná k přípravě na úhybný manévr činí 500 m.

## S02-1Z

Při provádění testu S02-1Z je zapotřebí výrazně delší dráha. Test probíhá při rychlostech až 130 km/h, nutný je tedy dostatečný prostor pro rozjezd na tuto rychlost a její ustálení. Zároveň je přítomna pohybující se překážka, která se testovanému vozidlu vzdaluje, což také prodlužuje vzdálenost od startu po dosažení bodu zahájení úhybného manévru.

## 7.2 Volba a úprava testovaného vozidla

Zpracování vlastního modelu reálného vozidla bylo vyhodnoceno jako nad rámec této práce, testované vozidlo tak bylo voleno z knihovny CarMakeru a byly na něm provedeny jen dílčí úpravy. Vybráno bylo vozidlo *DemoCar\_EuroNCAP*.

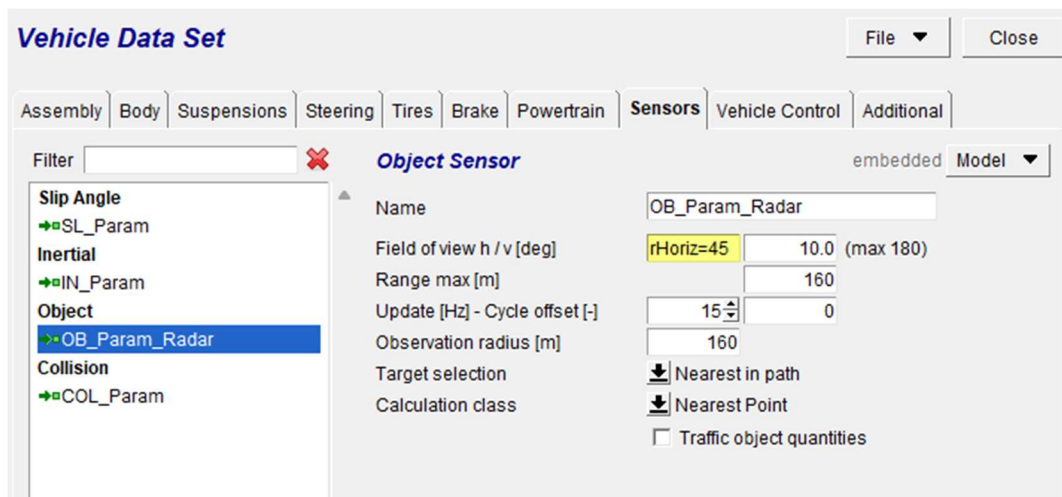
Zvolené vozidlo je použito v ukázkových příkladech, které jsou v programu CarMaker dostupné. Tyto příklady se týkají testů systémů AEB od EuroNCAP, je možné je najít ve složce „*DriverAssistance*“. Vozidlo je vybaveno velkým množstvím senzorů. Několik senzorů bylo odstraněno a ponechány byly pouze ty, které se týkají zpracovaných testů. Výčet ponechaných senzorů je možné vidět na obrázku 13.

Pro potřeby testu byla upravena poloha a parametry **Mid-Range Radaru (MRR)**, aby odpovídal vzoru použitému na Škodě Fabia 3. generace. Toto vozidlo bylo vybráno na základě podobnosti s modelem *DemoCar*. Zároveň je Škoda Fabia dostupná v rámci projektu carsharingu Uniqway, který je mimo jiné řešen i na ČVUT. Při budoucím pokračování na tomto tématu by tak mohla být využita pro provedení reálných testů k validaci simulací. Od vývoje Škoda Auto byly přislíbeny i technické podklady pro případnou tvorbu virtuálního modelu Fabie, ty však ale nebyly dodány v potřebném čase. I tak byla ale samotná tvorba modelu vyhodnocena jako nad rámec této práce, jak je již zmíněno výše.

Tabulka 3 - Mid-Range Radar – Škoda Fabia

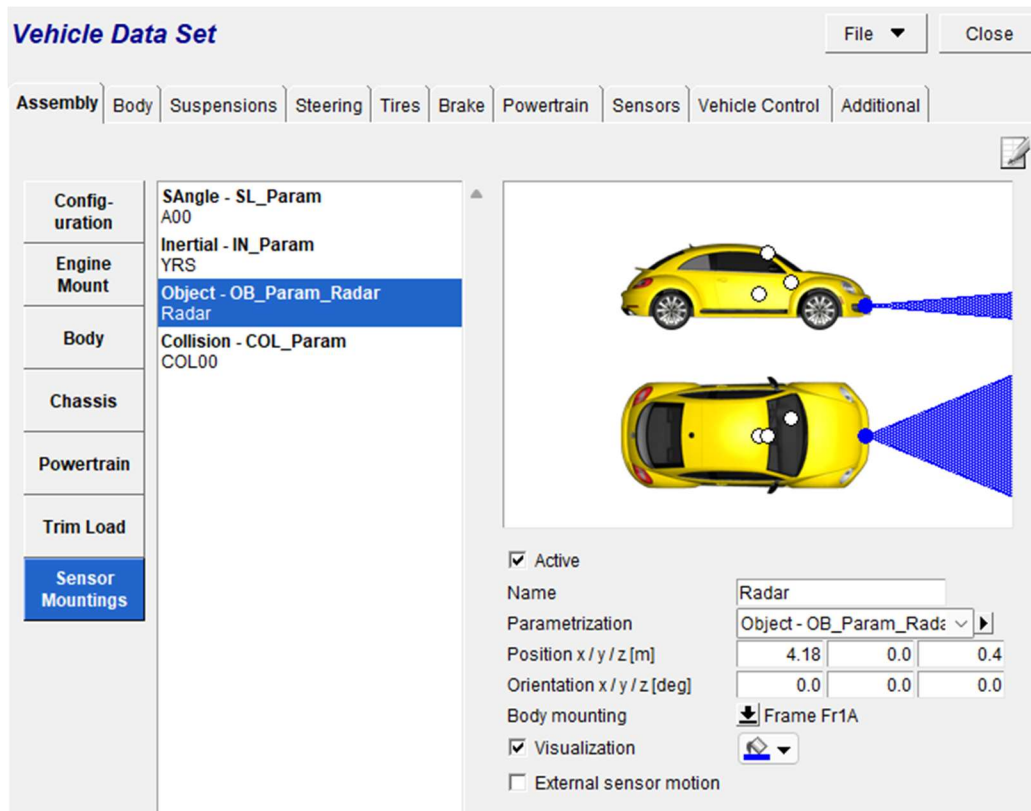
Horizontální zorný úhel	45°
Vertikální zorný úhel	10°
Obnovovací frekvence	15 Hz
Dosah	160 m
Pozorovací rádius	160 m

Na obrázku 13 je možné vidět vyplněné hodnoty v rámci parametrizace MRR.



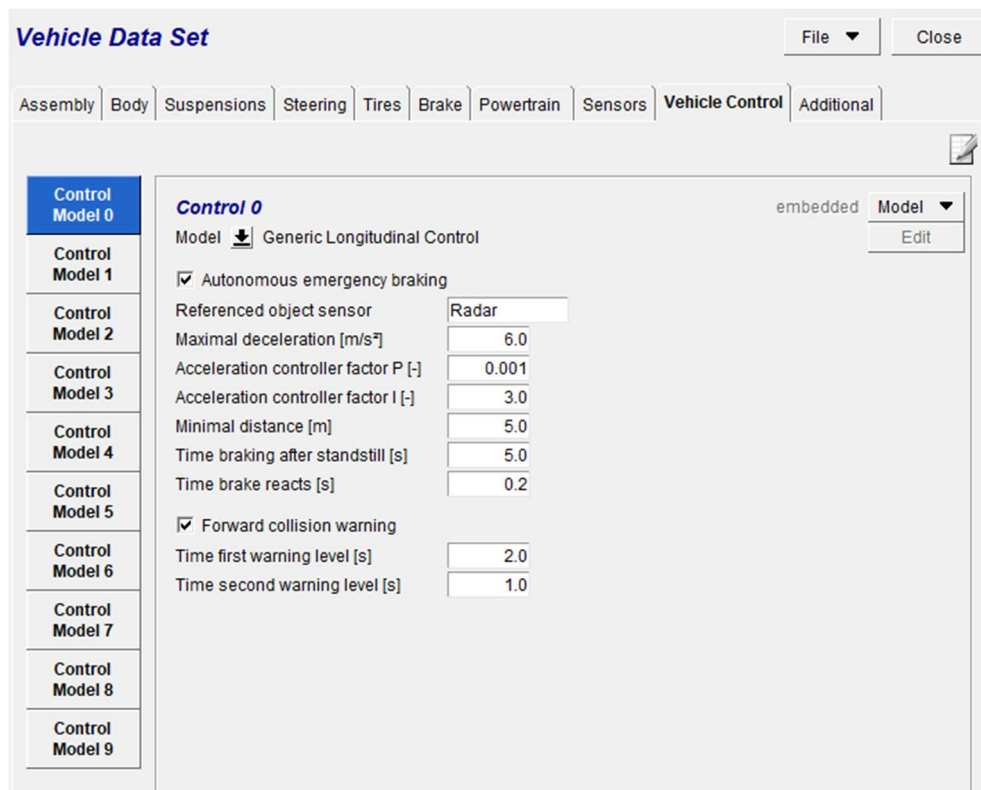
Obrázek 13 - Parametry MRR

Na obrázku 14 je možné vidět umístění jednotlivých senzorů v rámci vozidla. Modře zvýrazněný senzor je zmiňovaný MRR, který byl umístěn do spodní části předního nárazníku.



Obrázek 14 - Umístění MRR na vozidle

Vozidlo je vybaveno asistenčními systémy AEB a FCW využívající schopnost radaru detekovat překážku. Systémy je možné aktivovat či deaktivovat v záložce „Vehicle Control“. Přítomnost (aktivace) těchto asistenčních systémů závisí na variantě testu (A, B, C)

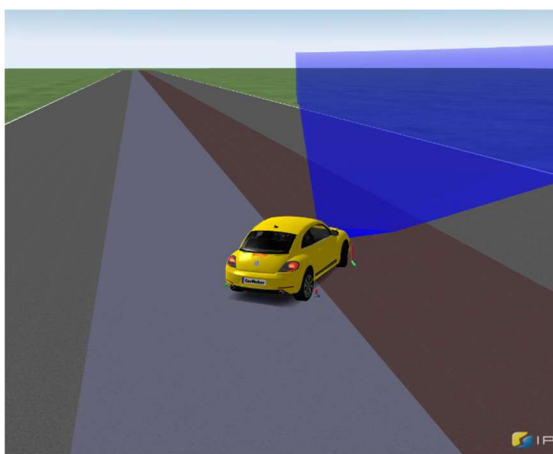


Obrázek 15 - Možnost aktivace a konfigurace systémů AEB a FCW

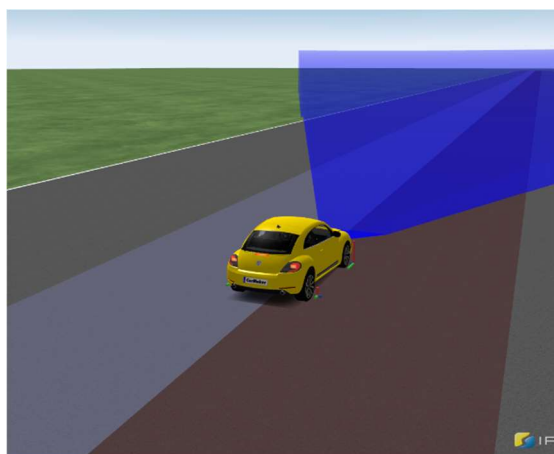
Systémem, kterým vozidlo není vybaveno a u kterého bylo v průběhu práce zjištěno, že má za určitých podmínek zásadní vliv na provedení úhybného manévru, a tedy i na výsledky testů, je systém ESP/ABS.

CarMaker přímo nenabízí funkce ABS a ESP ve svém základním rozhraní, jejich modely jsou ale k dispozici prostřednictvím propojení s Matlab Simulink. Testované vozidlo tak bylo ještě dodatečně vybaveno funkcí ESP z jiného modelu vozidla, které shodou okolností figuruje v ukázkovém příkladu průjezdu úhybným manévrem ISO 3888-2. Po implementaci tohoto systému však musí být testy spouštěny přes rozhraní Matlab Simulink.

Porovnání chování vozidel při brzdění na vozovce s různou trakcí tzv. „*μSplit*“. Vozidlo bez ESP dostane smyk a přejde do hodin, zatímco vozidlo s ESP zůstane stabilní.



Obrázek 16 - Vozidlo bez ESP



Obrázek 17 - Vozidlo s ESP

Parametry testovaného vozidla a pro informaci porovnání se Škoda Fabia 3. generace jsou uvedeny v tabulce 4

Tabulka 4 - Porovnání DemoCar a Škody Fabia

	DemoCar_EuroNCAP	Škoda Fabia 3, 1.2 TSI
Délka	4,28 m	3,99 m
Šířka	1,8 m	1,73 m
Výška	1,49 m	1,47 m
Hmotnost	1463 kg	1109 kg
Výkon	-	81 kw (4600-5600 rpm)
Točivý moment	185 Nm (4500 rpm)	175 Nm (1400-4000 rpm)
Pohon	Přední kola	Přední kola
Převodovka	Manuální	Manuální / Automatická

## 7.3 Stanovení jízdních manévrů

Existují různé možnosti, jak v CarMakeru nadefinovat pohyb vozidla. Základním principem je Longitudinal and Lateral Control, což v překladu znamená ovládání vozidla v příčném a podélném směru. V podélném směru může být nadefinována přesná rychlost, sešlápnutí konkrétních pedálů, v příčném směru pak zatočení o konkrétní úhel, požadavek na změnu pruhu nebo je možné v obou variantách toto vše ponechat virtuálnímu řidiči IPG Driver, který řídí dle nastavení a s respektem k vozovce, značení, předpisům a okolnímu provozu. Každý konkrétní manévr je aktivní předepsanou dobu (čas), vzdálenost nebo lze použít konkrétní podmínku pro jeho ukončení.

### 7.3.1 Úhybný manévr

Pro všechny varianty testovacích scénářů je společný manévr vyhnutí se překážce. Ten je možné realizovat více způsoby. První možnost je při použití statické překážky využít dopravních kuželů, funkce IPG Driver pro ovládání vozidla v příčném směru a předepsání pevné rychlosti pro ovládání v podélném směru. Pevně předepsat rychlost je nutné z toho důvodu, že IPG Driver by v dané situaci brzdil a snažil se snížit průjezdovou rychlost, což je pro test nežádoucí.

V praxi se tento přístup ukázal jako nevhodný, protože se virtuální řidič snaží o plynulé projetí úsekem. V momentě, kdy je zvyšována rychlost průjezdu, bylo zaznamenáno přejíždění krajních kuželů, tedy prodlužování si prostoru pro úhybný manévr. Zároveň tento způsob nelze využít pro variantu testu s pohybuující se překážkou, kde kužele nejsou přítomny.

Ze zmíněných důvodů byl zvolen přístup pevného předepsání jízdních manévrů. Předepsání testovací rychlosti zůstalo stejné, nicméně IPG Driver v příčném ovládání byl nahrazen příkazem „Lane Change“. Jak již bylo zmíněno v kapitole o tvorbě testovacího prostředí, vozovka je složena ze 3 pruhů. Vozidlo jede v pravém pruhu (R1), ve stejném pruhu je přítomna i překážka. Prostřední pruh je pouze přechodný a jeho šířka je 1 m (R0). Pruh nalevo (L0) je pruh, do kterého se vozidlo musí během 13,5 m dostat, aby zabránilo střetu s překážkou. Příkaz Lane Change tedy přikáže vozidlu (řidiči) přesunout se z pruhu R1 do pruhu L0 během ujetí vzdálenosti 13,5 m.

Specification of Maneuver Step	
Label	Lane_change
Description	
End Condition	
Duration (time/dist)	s 13.5 m Adjust
Longitudinal Dynamics	
<input checked="" type="checkbox"/> Speed Control	
Speed [km/h]	\$v=70
Max. Deviation [km/h]	0.0
Sensitivity [0..1]	1.0
<input checked="" type="checkbox"/> Manual Gear Shifting	
<input type="checkbox"/> Manumatic	
<input type="checkbox"/> Premature end when final speed is reached	
Lateral Dynamics	
<input checked="" type="checkbox"/> Lane Change	
New lane	L0
<input checked="" type="checkbox"/> Only driving lane	
Offset [m]	0
Transition	Linear
Driver Parameter...	

Obrázek 18 - Příkaz "Lane change"

V případě příkazu *Lane Change* je klíčové jeho přesné načasování. Pro přejetí z jízdy rovně předepsanou rychlostí k příslušnému úhybnému manévru je využito funkce „*Minimouver Commands*“, kde je předepsána podmínka k přejetí na úhybný manévr.

The image shows a software interface for configuring a maneuver step. It is divided into several sections:

- Specification of Maneuver Step:** Includes fields for Label (Driving), Description, End Condition, and Duration (999 s, m). There is an 'Adjust' button.
- Longitudinal Dynamics:** Contains a 'Speed Control' section with a dropdown arrow. Parameters include Speed [km/h] set to \$v=70, Max. Deviation [km/h] set to 0.0, and Sensitivity [0..1] set to 1.0. There are checkboxes for 'Manual Gear Shifting' (checked), 'Manumatic', and 'Premature end when final speed is reached'.
- Lateral Dynamics:** Contains a dropdown arrow for 'IPGDriver' and a 'Track Offset [m]' field set to 0. A 'Driver Parameter...' button is at the bottom.
- Minimaneuver Commands:** A text area containing the command: `[Car.Road.sRoad > (582.22-($v=70)/3.6*($c_steer=0.4))] DMjump Lane_change`.

Obrázek 19 - Minimaneuver Commands

Ke správnému stanovení této podmínky je nutné znát polohu překážky, délku manévru a délku prostoru před manévrem. Pro stanovení polohy testovaného vozidla vůči překážce je možné využít přímo radar pro ADAS ve vozidle, to však není vhodné z důvodu možnosti negativního ovlivnění výsledku testu při jeho nesprávné funkčnosti. Bylo by možné použít další externí radar, nebo metodu určování polohy z dat GPX. Snaha je co nejvíce se přiblížit realitě a obě varianty jsou v praxi nákladné. Pro testy v této práci byl zvolen způsob, který pracuje se vzdáleností jednotlivých vozidel vůči testovací vozovce, respektive jejímu počátku. To lze v praxi zrealizovat snazším a levnějším způsobem například za pomoci tzv. světelných bran, které jsou na vozovce rozmístěny v definovaných vzdálenostech.

Předepsáním počátku úhybného manévru na 13,5 m před překážkou, způsobí, že se vozidlo nevyhne již při nízkých rychlostech. Souvisí to s dynamikou vozidla, ale také s rychlostí, jakou je člověk schopný zatočit volantem. Zjednodušeně to znamená, že je potřeba začít zatáčet ještě před přiblížením se na hranici 13,5 m od překážky. Vzdálenost, o kterou je třeba zatočit dříve, aby vozidlo maximálně využilo dovolený prostor, se mění v závislosti na rychlosti. Bylo proto nutné zavést koeficient, který toto zohledňuje. Koeficient je nazvaný „efektivní čas pro zatočení“ a v simulaci je označován jako „*c\_steer*“.

Koeficient  $c\_steer$  vychází z času, který IPG Driver potřebuje pro otočení volantu o 1,6 rad (cca 45°), tento čas je označen „ $t\_steer$ “ a je roven 0,6 s. Dále pak zohledňuje, za jakou dobu od počátku zatáčení vozidlo začne reagovat na příslušný impuls. Tato doba závisí na rychlosti vozidla. Pro velice malé rychlosti je koeficient roven 0, pro vyšší (okolo 40 km/h) je použito  $1/3$  z  $t\_steer$  a pro vysoké (70 km/h a více)  $2,5/3$  z  $t\_steer$ . Pro ostatní rychlosti mezi těmito hodnotami se koeficient pohybuje v intervalu  $\langle 1/3 \cdot t\_steer; 2,5/3 \cdot t\_steer \rangle$ .

Efektivní čas pro zatočení v simulaci reprezentuje jakousi intuici lidského řidiče, který tuto korekci udělá podvědomě na základě zkušenosti s chováním příslušného vozidla.

Podmínka pro přejítí k úhybnému manévru vztažená na vzdálenost od počátku testovacího úseku tedy zní:

$$[Car.Road.sRoad > (582.22 - (v = 70)/3.6 \cdot (c\_steer = 0.4))] DMjmp Lane\_change \quad (1)$$

- $Car.Road.sRoad$  – aktuální vzdálenost v metrech souřadnicového systému vozidla od počátku testovacího úseku [m]
- 582,22 – vzdálenost v metrech mezi počátkem prostoru pro úhybný manévr a startovací pozicí testovaného vozidla
- $v$  – testovací rychlost v [km/h]
- $c\_steer$  – efektivní čas pro zatočení [s]

Slovní znění podmínky:

*Když je vzdálenost vozidla na testovacím úseku větší než poloha počátku zahájení úhybného manévru zmenšená o korekci efektivním časem pro zatočení, nastane přechod na úhybný manévr.*

### 7.3.2 Načasování úhybného manévru při variantě s pohyblivou překážkou

Pokud se v testovacím scénáři nachází pohyblivá překážka, jako je tomu u variant testů S02-1Z, použití přístupu založeného na známých vzdálenostech vztažených k počátku testovacího úseku začíná být komplikované. Je třeba určit místo, kde se vozidlo potká s překážkou, respektive kde mezi nimi bude rozestup takový, aby byl zahájen úhybný manévr. Toto místo je přitom potřeba určit s přesností na jednotky metrů.

První zvolený přístup je založen na předem vypočteném bodě, kde se vozidla k sobě přiblíží na vzdálenost potřebnou pro zahájení úhybného manévru. Přesného výsledku je možné dosáhnout, ale je zapotřebí přesně dodržet veškeré vstupní veličiny, jakými jsou zejména rychlost testovaného vozidla, zrychlení překážky a přesné udržení její požadované rychlosti.

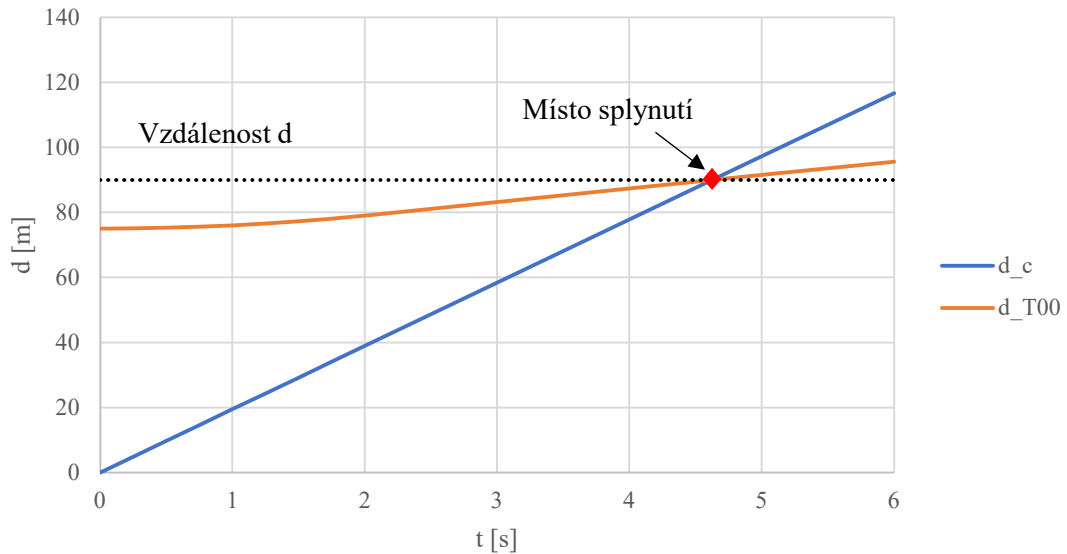


Pro tento způsob byl zvolen následující sled manévru:

- Po ustálení požadované rychlosti a projetí testovaného vozidla kontrolním bodem se překážka začne rozjíždět s přesně definovaným zrychlením (v tento moment je známa vzdálenost mezi testovaným vozidlem a překážkou)
- Po zrychlení překážky na požadovanou rychlost touto rychlostí několik metrů pokračuje
- Vozidlo se přiblíží do předem vypočteného bodu a zahájí úhybný manévr

Výpočty pro určení místa „splnutí“ obou vozidel

Závislost vzdálenosti  $d_c$  a  $d_{T00}$  od kontrolního bodu na čase  $t$



Obrázek 20 - Graf ukazující vzdálenost místa průniku vozidel

Rovnice pro místo „splnutí“ obou vozidel ve tvaru vzdálenosti ke kontrolnímu bodu.

$$d_c = d_{T00} = d$$

$$d = v \cdot t = \frac{1}{2} \cdot a_{T00} \cdot t_a^2 + v_{T00} \cdot (t - t_a) + d' \quad (2)$$

$$t_a = \frac{v_{T00}}{a_{T00}} \quad (3)$$

- $d$  – vzdálenost místa splnutí obou vozidel od počátku testovacího úseku [m]
- $d_c$  – vzdálenost testovaného vozidla od počátku [m]
- $d_{T00}$  – vzdálenost překážky (T00) od počátku testovacího úseku [m]
- $t$  – čas splnutí obou vozidel [s]
- $t_a$  – čas za který překážka zrychlí na předepsanou rychlost [s]
- $v_{T00}$  – předepsaná rychlost překážky [m/s]
- $a_{T00}$  – předepsané zrychlení překážky [m/s<sup>2</sup>]

Po dosazení rovnice (3) do rovnice (2)

$$(v - v_{T00}) \cdot t = \frac{1}{2} \cdot a_{T00} \cdot \frac{v_{T00}^2}{a_{T00}^2} - v_{T00} \cdot \frac{v_{T00}}{a_{T00}} + d' \quad (4)$$

Vyjádření času, ve kterém vozidla „splynou“

$$t = \frac{1}{v - v_{T00}} \cdot \left( d' - \frac{1}{2} \cdot \frac{v_{T00}^2}{a_{T00}} \right) \quad (5)$$

Vzdálenost mezi místem „splynutí“ obou vozidel a kontrolním bodem dostaneme dosazením (5) do (2)

$$d = \frac{v}{v - v_{T00}} \cdot \left( d' - \frac{1}{2} \cdot \frac{v_{T00}^2}{a_{T00}} \right) \quad (6)$$

Pro stanovení počátku úhybného manévru je třeba odečíst délku testovaného vozidla prostor pro provedení úhybného manévru a korekci v závislosti na efektivním čase pro zatočení. Naopak prostor pro manévr je vhodné zkrátit o vzdálenost, kterou překážka ujede během tohoto manévru. Kdyby tak nebylo učiněno, došlo by k prodloužení dostupného prostoru pro úhybný manévr, který je předepsán na 13,5 m, a tím pádem i zkreslení výsledků testu. Podmínka pro zahájení úhybného manévru je uvedena v příkazu (9).

Vzdálenost, o kterou je prostor pro úhybný manévr zkrácen v závislosti na rychlosti překážky T00 a testovaného vozidla:

- Čas pro projetí test. vozidla úhybným manévrem:

$$d_m = v \cdot t_m \rightarrow t_m = \frac{d_m}{v} \quad (7)$$

- Vzdálenost ujetá překážkou během průjezdu test. vozidla úhybným manévrem

$$d_{m\_T00} = v_{T00} \cdot t_m = d_m \cdot \frac{v_{T00}}{v} \quad (8)$$

- $d_m$  – původní délka úhybného manévru (13,5 m)
- $d_{m\_T00}$  – vzdálenost ujetá překážkou během úhybného manévru
- $t_m$  – čas průjezdu test. vozidla úhybným manévrem
- $v$  – rychlost testovaného vozidla [km/h]
- $v_{T00}$  – rychlost překážky [km/h]

Podmínka pro přejítí k úhybnému manévru má po dosazení následující podobu:

$$\frac{[Car.Road.sRoad > ((d_{KB}=765.72)-13.5 - (\frac{v=70}{3.6} * (c_{steer}=0.5) + (\frac{v=70}{((v=70)-(v_{T00}=30))}) * (d' - 0.25 * ((\frac{v_{T00}=30}{3.6})^2 / (a=2)) + (\frac{v_{T00}=30}{(v=70)} * 13.5))]}{DM_{jump Lane\_change}} \quad (9)$$

- Car.Road.sRoad – aktuální vzdálenost testovaného vozidla od počátku testovacího úseku [m]
- $d_{KB}$  – vzdálenost kontrolního bodu od počátku test. úseku [m]
- $v$  – rychlost testovaného vozidla [km/h]
- $v_{T00}$  – rychlost překážky [km/h]
- $a_{T0}$  – zrychlení překážky [m/s<sup>2</sup>]
- $c_{steer}$  – efektivní čas pro zatočení [s]
- $d'$  – vzdálenost mezi testovaným vozidlem a překážkou v moment průjezdu testovaného vozidla kontrolním bodem [m]

Slovní znění podmínky:

*Když je vzdálenost testovaného vozidla od počátku větší než vzdálenost bodu splnutí obou vozidel zmenšená o délku překážky, o prostor pro úhybný manévr, o korekci v souvislosti s efektivním časem pro zatočení a zvětšena o vzdálenost kterou překážka ujede navíc během úhybného manévru, testované vozidlo přejde k úhybnému manévru.*

I přes „ideální“ podmínky v simulaci se tento způsob jeví jako nepřesný a zbytečně komplikovaný. Odchylka je velice citlivá na správné dodržení predepsaných rychlostí. Později byl tento způsob nahrazen jiným.

Nový způsob vychází ze známé aktuální vzdálenosti obou vozidel od počátku testovacího úseku. Podmínka pro přechod k úhybnému manévru má následující podobu:

$$\frac{[(Traffic.T00.sRoad - Car.Road.sRoad - 4.28 - 13.5 - (\frac{v=70}{3.6} * (c_{steer}=0.5) + (\frac{v_{T00}=30}{((v=70))}) * (13.5 + (\frac{v=70}{3.6} * (c_{steer}=0.5)))]}{DM_{jump Lane\_change}} < 0.5 \quad (10)$$

- Traffic.T00.sRoad – aktuální vzdálenost vozidla T00 (překážky) od počátku testovacího úseku [m]

Je patrné nejen že došlo ke zjednodušení, ale výsledky simulací zároveň ukazují významné zpřesnění. Jak tento přístup aplikovat na reálný test bude pospáno v následujících kapitolách.

Výše popsané způsoby vychází z požadavku zrealizovat testy bez použití dodatečného radaru nebo GPX. V tomto případě by ale mohl být například nezávislý radar, který by monitoroval vzdálenost od překážky obzvláště užitečný a pravděpodobně by v realitě přinesl zpřesnění a zjednodušení testu.

Podmínka pro přechod k lane change za použití nezávislého radaru by pak mohla vypadat:

$$\begin{aligned} & [Sensor.Object.Aditional\_Radar.relvTgt.NearPnt.ds.x < (13.5 + \\ & ((\$v=70))/3.6*(\$c\_steer=0.5) + ((\$v\_T00=30))/((\$v=70))*(13.5 + \\ & ((\$v=70))/3.6*(\$c\_steer=0.5))] DMjmp Lane\_change \end{aligned} \quad (11)$$

- *Sensor.Object.Aditional\_Radar.relvTgt.NearPnt.ds.x* – vzdálenost relevantního detekovaného objektu od radaru [m]

### 7.3.3 Rozjezd a držení rozestupu mezi vozidly

Z důvodu přiblížení se co možná nejvíce realitě začíná každý test rozjezdem vozidla z místa. Pro dosažení testovací rychlosti je použit jednoduchý příkaz, kdy je virtuálnímu řidiči (IPG Driver) předepsána požadovaná rychlost. V simulaci se tak vozidlo rozjede stejným způsobem, jako by se v realitě rozjížděl běžný řidič. Čas i vzdálenost potřebná pro rozjezd je dána výkonem vozidla, zda je řazení manuální, nebo automatické, ale také nastavení jízdního stylu řidiče. Parametry vozidla jsou uvedeny v kapitole o volbě a úpravě modelu vozidla a jízdní styl řidiče je nastaven jako „normal“ (k dispozici je ještě *defensive* a *aggressive*). Po dosažení požadované rychlosti následuje úsek, kdy se jeho rychlost stabilizuje, teprve až poté je možné přejít do fáze úhybného manévru.

Pro testovací scénáře S01-2Z přibývá dalších několik manévrů, které zajistí, aby se testovací vozidlo drželo za vozidlem jedoucím před ním v požadovaném rozestupu (0,5 s a 2 s). Obě vozidla startují z místa a rozjedou se na testovací rychlost. Po jejím ustálení je pomocí příkazu (12) vyhodnocen rozestup mezi vozidly. Na základě vyhodnocení příkazů (13) a (14) následuje buď manévr vedoucí ke zkrácení, nebo prodloužení rozestupu. Přiblížení, respektive oddálení, je realizováno předepsáním vyšší, respektive nižší rychlosti, než je testovací (cca do  $\pm 5$  km/h). Zároveň je stanoven rozestup od vozidla jedoucího vpředu v nastavení IPG Driver na požadovanou hodnotu času (0,5 s nebo 2 s). Po přiblížení se a ustálení vzdálenosti mohou obě vozidla přejít do fáze úhybného manévru, která vychází z požadavků testu.

Maneuver					
No	Start	Dur	Long	Lat	Label/Description
==== Global Settings / Preparation ====					
0	0.0	2			[Waiting]
1	2.0	999	70		[Acceleration]
2	1001.0	0.1	v=70		[Check_dist]
3	1001.1	999	65		[Increase_dist]
4	2000.1	999	75		[Decrease_dist]
5	2999.1	999	70		[Follow]
6	3998.1	999	v=70		[Driving]
7	4997.1	-	v=70	→L0	[Lane_change]
8	4997.1	5	v=70	→L0	[Keep_driving]
9	5002.1				==== END ====

Obrázek 21 - Seznam všech manévrů testů S01-2Z

### 7.3.3.1 Příkazy použité u jednotlivých manévru

- 1) Přejít ke kontrole vzdálenosti po akceleraci na testovací rychlost:

$$[abs(Car.v-(v=70)/3.6) < 1] DMjump Check\_dist \quad (12)$$

- 2) Kontrola vzdálenosti – rozhodnutí, zda je zapotřebí rozestup zmenšit, nebo zvětšit:

$$[(abs(Car.Road.sRoad+4.28-Traffic.T01.sRoad) - (d\_sf=38.9)) < 0.5] DMjump Increase\_dist \quad (13)$$

$$[(abs(Car.Road.sRoad+4.28-Traffic.T01.sRoad) - (d\_sf=38.9)) > 0.5] DMjump Decrease\_dist \quad (14)$$

- 3) 4) Manévry pro dosažení požadovaného rozestupu

→ Po dosažení požadovaného rozestupu při jeho zvětšování:

$$[(abs(Car.Road.sRoad+4.28-Traffic.T01.sRoad) - (d\_sf=38.9)) > 0.5] DMjump Follow \quad (15)$$

→ Po dosažení požadovaného rozestupu při jeho zmenšování:

$$[(abs(Car.Road.sRoad+4.28-Traffic.T01.sRoad) - (d\_sf=38.9)) < 0.5] DMjump Follow \quad (16)$$

- 5) Následování vozidla pomocí funkce IPGDriver a ustálení rozestupu

- 6) Volná jízda

- 7) Přejít k manévru Lane Change pomocí příkazu (1)

Význam proměnných:

- *Car.v* – aktuální rychlost vozidla [m/s]
- *v* – testovací rychlost [km/h]
- *Car.Road.sRoad* – aktuální vzdálenost v metrech souřadnicového systému vozidla od počátku testovaného úseku [m]
- *Traffic.T01.sRoad* – aktuální vzdálenost v metrech souřadnicového systému provozu T01 od počátku testovacího úseku [m]
- *d\_sf* – požadovaný rozestup mezi vozidly v metrech [m]

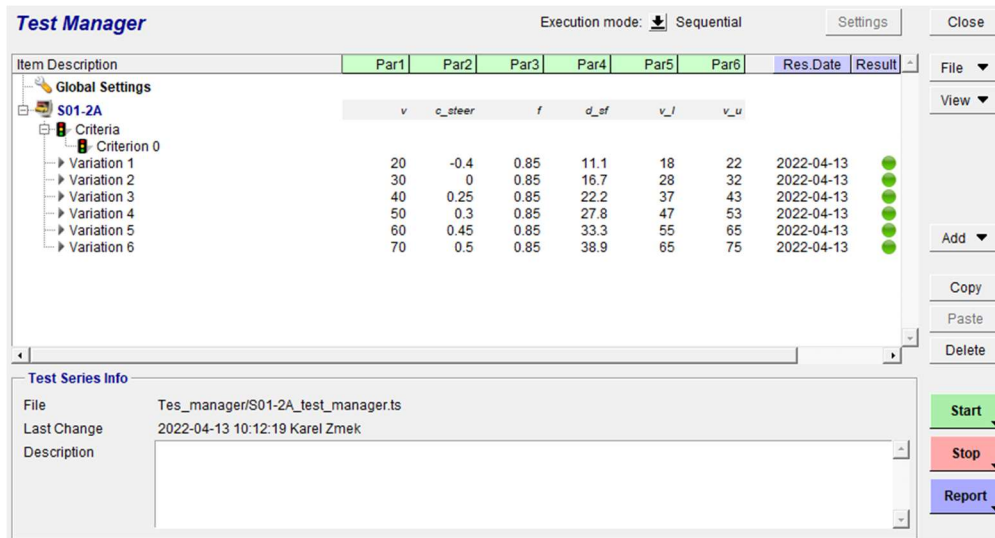
Úhybný manévr vozidla T01 jedoucím před testovaným vozidlem je obdobně jako úhybný manévr testovaného vozidla předepsán určitou vzdáleností od počátku testovaného úseku. Podoba příkazu pro přejít k manévru je uvedena v (17).

$$Traffic.T01.sRoad > 570.23 \quad (17)$$

## 7.4 Optimalizace simulace

Každý testovací scénář byl navržen na jednu testovací rychlost. Tato rychlost je 50 km/h. Cílem testování je pokrýt celé spektrum rychlostí od nízkých po ty vysoké. Jak již bylo zmíněno, testovací scénáře se statickou překážkou počítají s rychlostmi od 20 do 70 km/h. Testovací scénáře s překážkou dynamickou počítají s průjezdovými rychlostmi až 130 km/h.

Aby bylo možné testování napříč různými rychlostmi provést, musí testovací scénáře fungovat správně. Během tvorby celé simulace byly proměnné veličiny zapisovány ve tvaru „\$proměnná\_veličina = xxx“. CarMaker nabízí tzv. test manager, ve kterém je možné takto zapsané veličiny zadat a přiřadit jim pro každý jednotlivý test jinou hodnotu.



The screenshot shows the Test Manager interface with a table of test variations. The table has columns for parameters (Par1-Par6), Res.Date, and Result. The data is as follows:

Item Description	Par1	Par2	Par3	Par4	Par5	Par6	Res.Date	Result
Global Settings								
S01-2A								
Criteria								
Criterion 0								
Variation 1	20	-0.4	0.85	11.1	18	22	2022-04-13	●
Variation 2	30	0	0.85	16.7	28	32	2022-04-13	●
Variation 3	40	0.25	0.85	22.2	37	43	2022-04-13	●
Variation 4	50	0.3	0.85	27.8	47	53	2022-04-13	●
Variation 5	60	0.45	0.85	33.3	55	65	2022-04-13	●
Variation 6	70	0.5	0.85	38.9	65	75	2022-04-13	●

Obrázek 22 - Test Manager

Odladění simulace spočívalo především v najetí správných koeficientů *efektivního času pro zatočení*. Zoptimalizována byla ale také vzdálenost potřebná pro rozjezd na testovací rychlost a prostor pro ustálení rozestupu mezi vozidly u variant S01-2Z.

### 7.4.1 Validace

Stanovení přesnosti a validace simulovaných výsledků není předmětem této práce. Při pokračování na tomto tématu v další závěrečné práci by to ale mohla být jedna z oblastí na kterou by bylo vhodné se zaměřit.

## 7.5 Provedení testování

Virtuální testování bylo provedeno pomocí funkce „Test Manager“, kde byly uvedeny všechny variace požadovaných proměnných. Na základě provedení těchto testů byl vybrán vzorek, kterému se podrobněji věnuje tato práce v kapitolách týkající se vyhodnocení.

Při provedení virtuálních testů se již počítá se správným odladěním simulací a výsledky jsou tak považovány za důvěryhodné s odkazem na vlastní přesnost simulace, jejíž stanovení, jak již bylo zmíněno, není předmětem této práce.

Vybraný vzorek je složen vždy z nejnižší testovací rychlosti, střední testovací rychlosti (v případě testů S01-1 a 2Z se jedná o rychlost 40 km/h, při které poprvé začne reagovat systém AEB) a nejvyšší testovací rychlosti.

Pro každý test a každou testovanou rychlost byly zaznamenány požadované hodnoty. Tyto hodnoty byly zaznamenány pomocí funkce IPGControl a exportovány do programu Microsoft Excel. Následné zpracování a tvorba grafů proběhla taktéž v Excelu.

Zaznamenávanými hodnotami jsou:

- Rychlost testovaného vozidla
- Vzdálenost testovaného vozidla od počátku
- Rychlost dalších vozidel/překážek v testu (T00, T01)
- Vzdálenost od počátku dalších vozidel/překážek v testu (T00, T01)
- Monitorování funkce systému FCW
- *Monitorování funkce systému AEB není třeba, jelikož aktivace tohoto systému se přímo projeví na rychlosti vozidla*

Při vyhodnocení testu jsou do grafů zaneseny dvě fiktivní vozidla, která mají reprezentovat provoz pohybující se za testovaným vozidlem s rozestupem 0,5 a 2 s. Tato vozidla nejsou v testu přítomna, jejich vzdálenost od počátku testovacího úseku je dána testovaným vozidlem při variantě A zpožděným o příslušný časový úsek. To zajišťuje odpovídající data jejich pohybu bez nutnosti vnášet je do simulace. Zároveň tím, že při variantě A projíždí testované vozidlo tratí bez brzdění či jakékoli další změny rychlosti, splňuje to požadavek pro okolní provoz, který nemění rychlost a mohl by být ovlivněn aktivací systému AEB u vozidla jedoucího před ním.

## 8 Vyhodnocení virtuálního testování

Testovací scénáře jsou vždy vyhodnoceny ve třech stupních na základě průjezdové rychlosti. Těmi jsou:

- Nejnižší průjezdová rychlost 20 km/h (50 km/h)
- Střední průjezdová rychlost 40 km/h (90 km/h)
- Nejvyšší průjezdová rychlost 70 km/h (130 km/h)

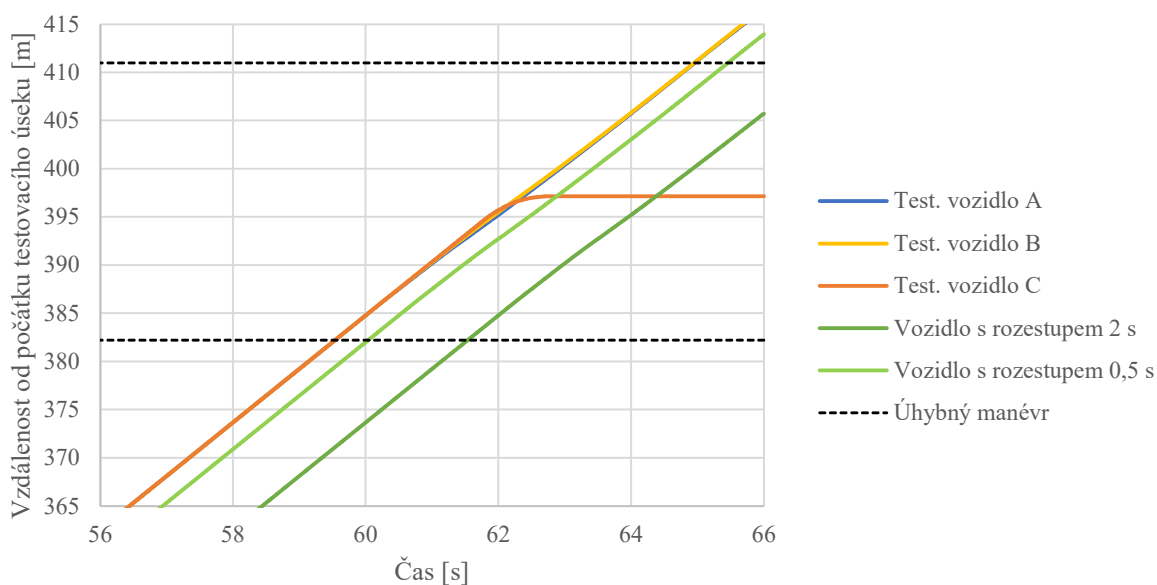
*Uvedené rychlosti jsou pro testy S01-1Z a 2Z, rychlosti v závorce pak pro testy S02-1Z*

Vyhodnocení probíhá na základě 4 grafů popisujících vzdálenosti, popřípadě průsečíky drah jednotlivých vozidel od počátku test. úseku vstupujících do testu, vzájemné rozestupy vozidel (varianty 0,5 a 2 s) a rychlostní profily. Navíc k těmto grafům jsou při vyhodnocení doplněny další informace patrné ze simulací a ne přímo viditelné na příslušných grafech. V některých případech i komentované obrázky. Po okomentování jednotlivých testů následuje celkové shrnutí a poznatky z testování jako celku.

### 8.1 S01-1Z

#### 8.1.1 Rychlost testovaného vozidla: 20 km/h

Vzdálenost vozidel od počátku testovacího úseku

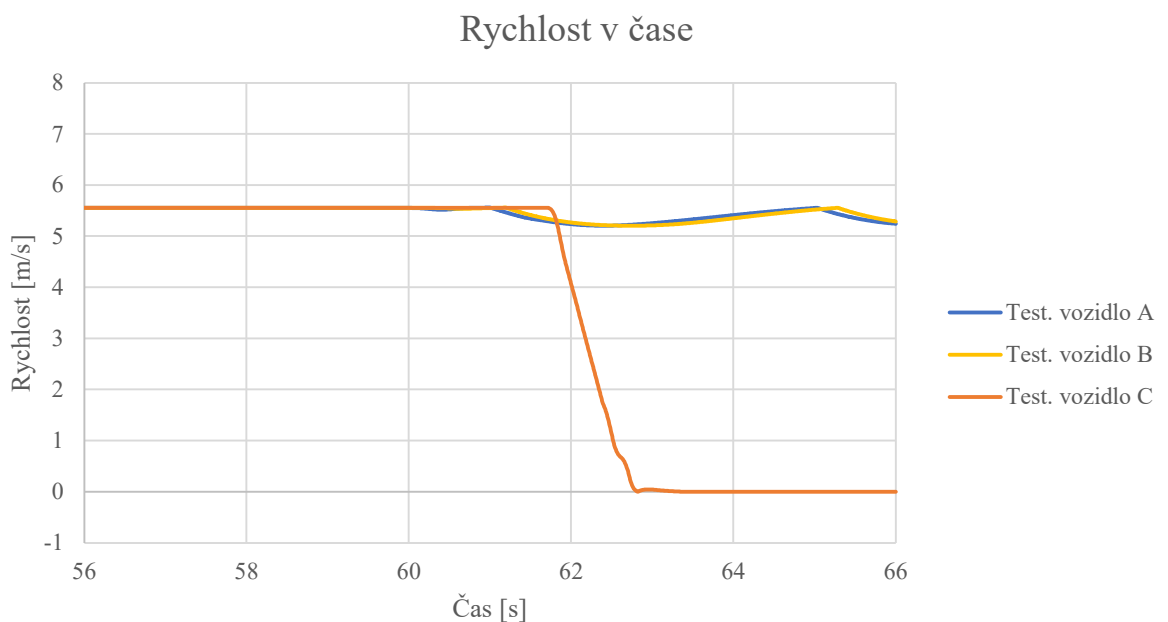


Obrázek 23

V prvním grafu na obrázku 23 je možné vidět závislost vzdálenosti příslušného vozidla od počátku testovacího úseku na čase. Označení A, B, C referuje variantu testu (viz kapitola 6). Vozidlo A se překážce vyhýbá a systém AEB je vypnutý, vozidlo B se taktéž vyhýbá, systém AEB je ale zapnutý a vozidlo C se překážce nevyhýbá, přičemž zabránění kolizi s překážkou je čistě v režii správné funkce AEB. Ze vzdáleností jednotlivých křivek je možné určit rozstup mezi příslušnými vozidly. Pokud se některé dvě křivky protnou, znamená to buď srážku vozidel, nebo vyhnutí se a minutí daného vozidla. Tyto průsečíky budou u tohoto typu grafu vždy okomentovány.



Graf je tedy tvořen třemi testovými variantami, a to testy A, B a C, které, jak již bylo zmíněno, se liší v míře zásahu systému AEB. Pokud se tedy protnou křivky vozidel A, B nebo C nevyplývá z toho žádná interakce mezi těmito vozidly, protože každé vozidlo bylo v příslušném testu samostatně. Podstatné jsou ale průsečíky křivek vozidel A, B a C se zelenými křivkami. Zelené křivky znázorňují vozidla jedoucí za testovaným vozidlem. Jedná se o vozidlo „V00“ jedoucí s rozestupem 2 s a vozidlo „V01“ jedoucí s rozestupem 0,5 s. Tato vozidla projíždí testovacím úsekem bez reakce na okolní dopravu brzděním (stejně jako testované vozidlo při variantě testu „A“). Při průsečíku s těmito zelenými křivkami dojde ke srážce testovaného vozidla s vozidlem jedoucím za ním s příslušným rozestupem. Na základě toho je možné určit míru ovlivnění okolního provozu případným zásahem systému AEB.

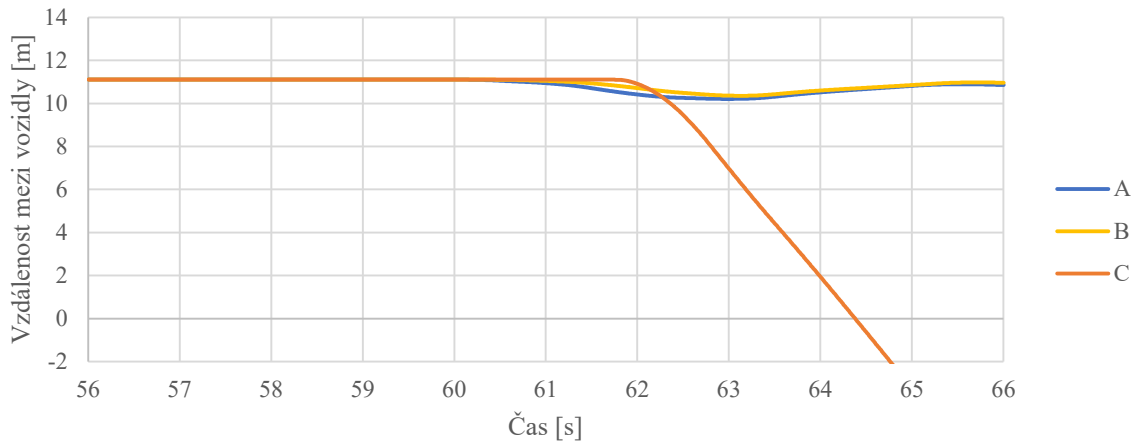


Obrázek 24

Graf na obrázku 24 znázorňuje průběh rychlosti testovaných vozidel v čase. I přes předpokládanou konstantní rychlost průjezdu při testu A (také při testu B bez aktivace AEB) je možné vidět výchylku, která se nachází v oblasti úhybného manévru. Ta je způsobena právě změnou směru, kdy při provádění úhybného manévru vozidlo ztratí určitou rychlost.

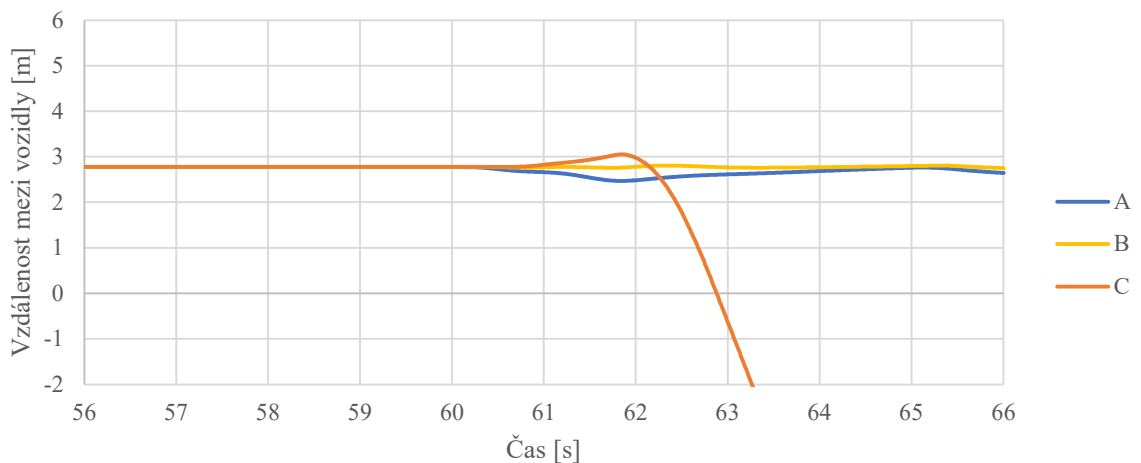
Z důvodu ztráty rychlosti pouhým průjezdem úhybným manévrem je možné pozorovat změnu v rozestupu mezi testovaným vozidlem a vozidly V00 a V01 jedoucími za ním, jak popisují grafy na obrázcích 25 a 26 (ale také další stejného typu pro různé testové varianty).

### Vzdálenost mezi testovaným vozidlem a vozidlem (V00) jedoucím za ním s počátečním rozestupem 2 s



Obrázek 25

### Vzdálenost mezi testovaným vozidlem a vozidlem (V01) jedoucím za ním s počátečním rozestupem 0,5 s



Obrázek 26

Grafy na obrázcích 25 a 26 popisují vzdálenosti mezi testovaným vozidlem a vozidlem jedoucím za ním s příslušným rozestupem. Písmena A, B a C opět referují na danou testovou variantu popsanou v kapitole 6. Například křivka pro variantu C v určitém okamžiku prudce klesne pod nulu. To je možné za určitých podmínek interpretovat jako kolizi mezi testovaným vozidlem a vozidlem V00 resp. V01 (bude okomentováno dále). Mezi 61. a 62. sekundou v grafu na obrázku 26 se může při prvním pohledu na křivku C zdát, že testované vozidlo zrychlilo a navýšilo rozestup mezi ním a V01. Nejedná se však o zrychlení ale o to, že testované vozidlo pokračovalo v jízdě směrem k překážce bez úhybného manévru. Při nízké rychlosti systém AEB zareaguje až po průjezdu oblastí počátku úhybného manévru, to se projeví právě krátkodobým navýšením rozestupu mezi ním a V01.

### **Vyhodnocení z pohledu jízdní dynamiky a zásahu systému AEB, FCW:**

Při testu S01-1Z provedeného pro rychlost 20 km/h byl průjezd testovaného vozidla při variantě A plynulý a vozidlo se bez jakéhokoliv problému vešlo na vytyčenou trať. Při variantě B nedošlo k aktivaci AEB a průjezd byl taktéž plynulý. Plynulost průjezdu je možné sledovat v grafu na obrázku 24 popisující rychlostní profily. V testovací variantě C došlo k úplnému zastavení za překážkou (T00) pomocí aktivace systému AEB a zabránění tak kolizi s ní.

Funkce FCW pro varianty A a B upozorní pouze prvním varováním. Pro variantu C proběhnou obě varování (2 s a 1 s před počátkem brzdění).

### **Vyhodnocení z pohledu ovlivnění okolního provozu:**

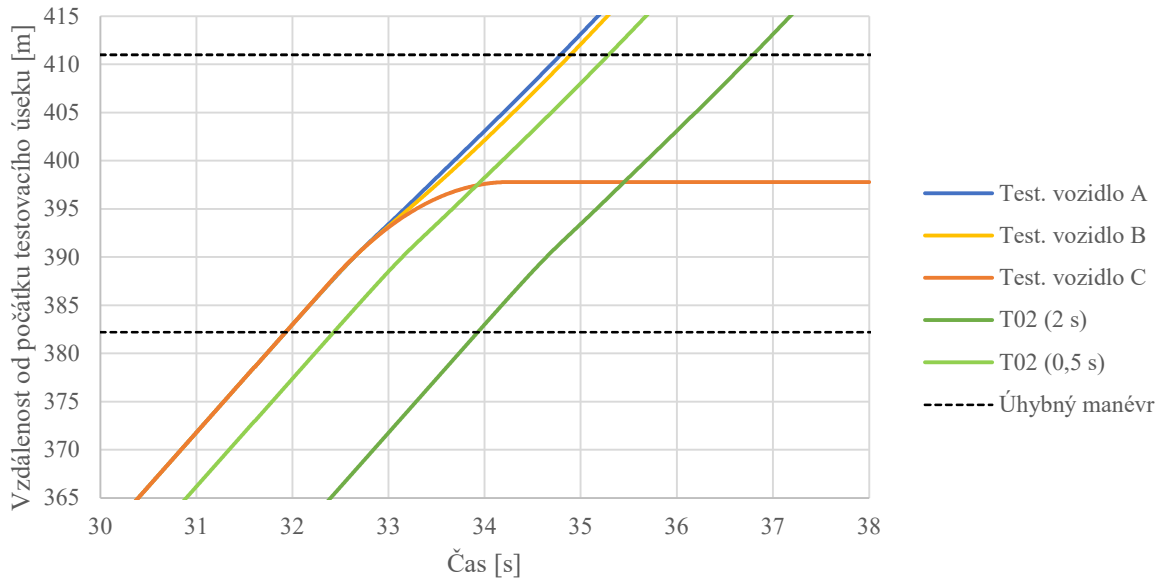
Z grafu na obrázku 23 je patrné, že křivky popisující průběh vzdáleností vozidel A a B od počátku se neprotínají ani nijak nebezpečně nepřibližují k žádné zelené křivce. Tomu odpovídají i rozestupy patrné z grafů na obrázcích 25 a 26. Okolní provoz při těchto dvou variantách nebyl nijak narušen. Při testové variantě C by dle grafů došlo ke kolizi s oběma vozidly jedoucimi za testovaným. Nicméně je potřeba říci, že systém AEB při takto malé rychlosti reaguje až velice blízko překážky a zároveň pro takto nízkou rychlost není zapotřebí celých 13,5 m pro úhybný manévr. To má za následek to, že při zastavení testovaného vozidla 0,5 m za překážkou (T00) a při jeho délce 4,3 m zbyde pro vozidlo za ním (V00 nebo V01) 8,7 m na provedení úhybného manévru. Tato vzdálenost je při průjezdové rychlosti 20 km/h dostatečná pro jeho provedení a kolize tedy nemusí nastat ani s V01 ani s V00.

*Poznámka:*

*Pro lepší orientaci v konfiguraci variant tohoto testu je možné nahlédnout na stranu 22, kde jsou taktéž uvedena schémata na obrázcích 7 a 8.*

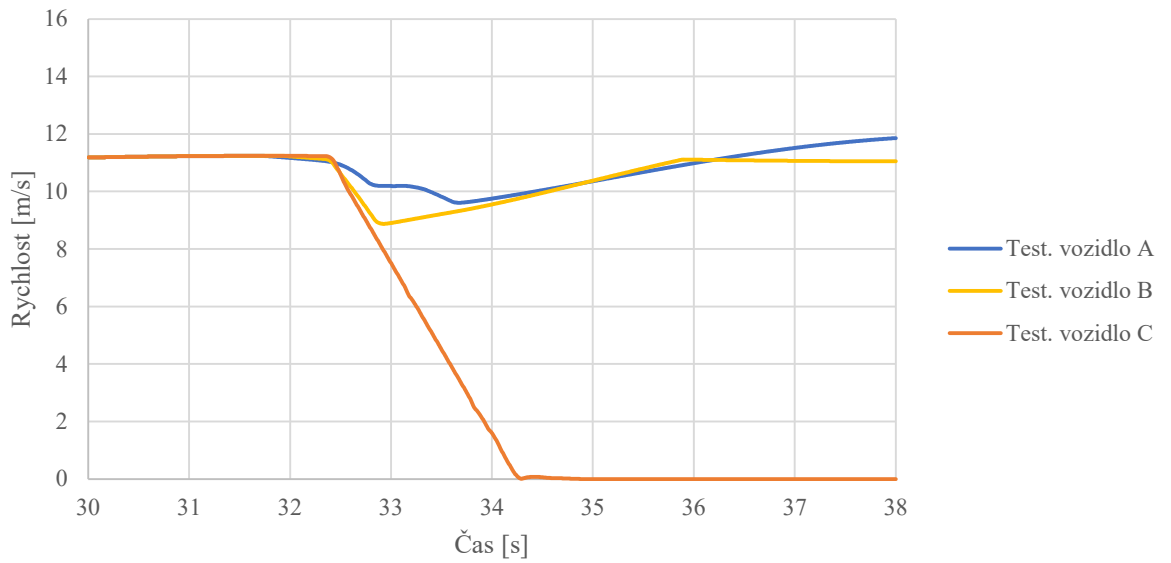
### 8.1.2 Rychlost testovacího vozidla: 40 km/h

Vzdálenost vozidel od počátku testovacího úseku



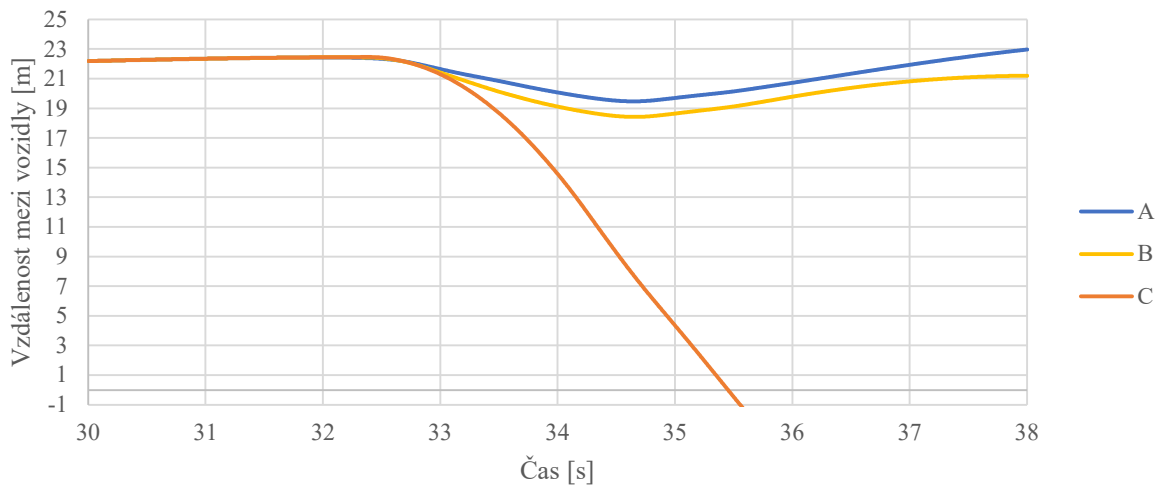
Obrázek 27

Rychlost v čase



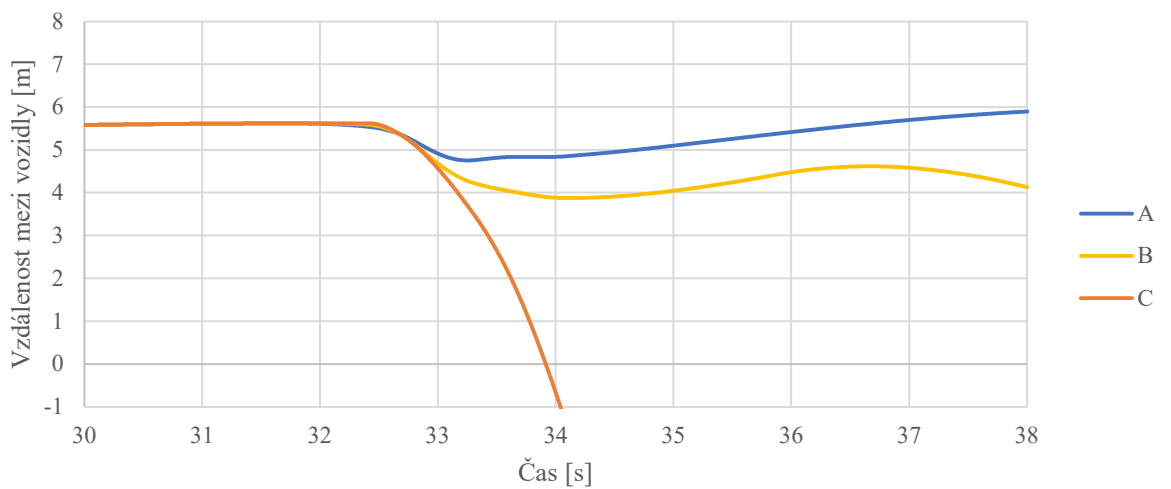
Obrázek 28

Vzdálenost mezi testovaným vozidlem a vozidlem (V00)  
jedoucím za ním s počátečním rozestupem 2 s



Obrázek 29

Vzdálenost mezi testovaným vozidlem a vozidlem (V01)  
jedoucím za ním s počátečním rozestupem 0,5 s



Obrázek 30

### **Vyhodnocení z pohledu jízdní dynamiky a zásahu systému AEB, FCW:**

Úhybný manévr ve variantě testu A proběhl úspěšně, testované vozidlo se plynule vyhnulo překážce T00 a bez problému se vešlo na vytyčenou trať. Došlo k mírné ztrátě rychlosti při průjezdu úhybným manévrem, nicméně to je očekávaný důsledek. Při variantě testu B došlo ke krátké aktivaci systému AEB při průběhu úhybného manévru, to narušilo plynulost průjezdu a nemělo žádný pozitivní vliv pro samotný průjezd. Skok v rychlosti způsobený přibrzděním je možné vidět v grafu na obrázku 28. Ve variantě C došlo k úspěšnému zastavení za překážkou T00 a zabránění kolizi s ní.

Funkce FCW u všech variant testu spustí obě varování, u testu B a C je to 2 s před počátkem brzdění prvním varováním a 1 s před druhým.

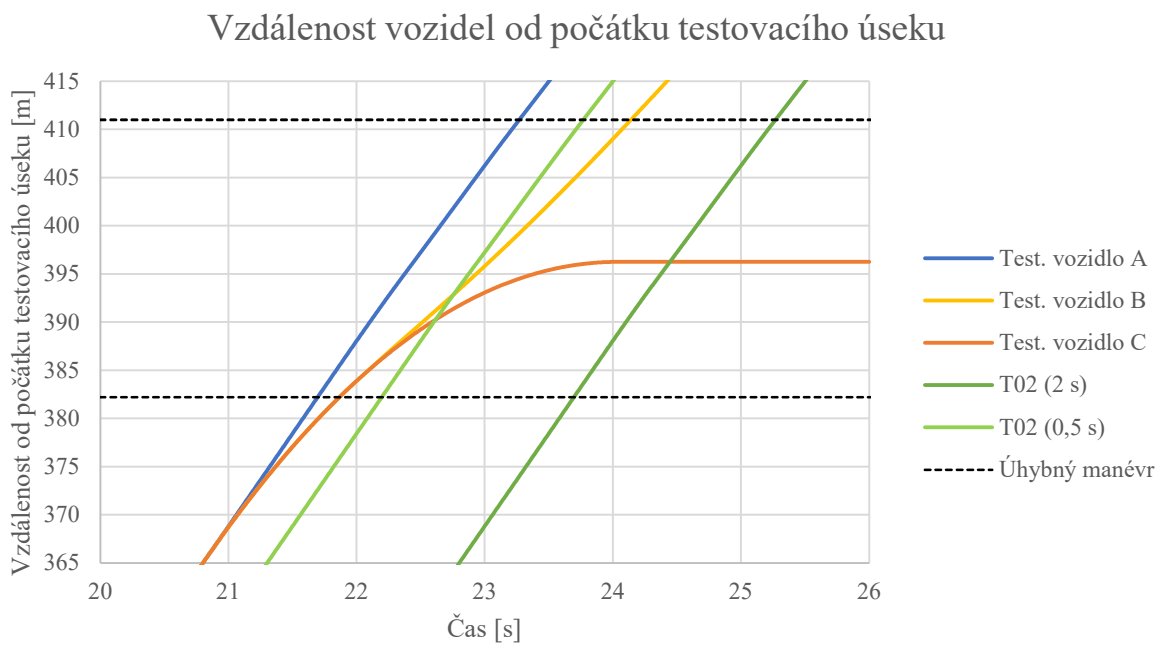
### **Vyhodnocení z pohledu ovlivnění okolního provozu:**

Křivka vozidla B v grafu na obrázku 27 se přiblížila vozidlu V01 jedoucímu s rozestupem 0,5 s. To má za následek aktivace systému AEB a snížení rychlosti testovaného vozidla. Způsobenou změnu v rozestupu je možné vidět v grafu na obrázku 30, ve svém minimu dosáhne 3,87 m. Určitá vzdálenost tedy mezi těmito vozidly zůstala a ke kolizi by nedošlo. Vzdálenost mezi vozidlem B a V00 jedoucím s rozestupem 2 s se zmenšila o stejnou vzdálenost jako u rozestupu 0,5 s, ale v porovnání s celkovou vzdáleností mezi nimi se jedná o zanedbatelnou hodnotu. Vozidlo V00, jedoucí s bezpečným rozestupem, by tak nebylo nijak výrazně ovlivněno. Při testové variantě C by došlo ke kolizi s oběma vozidly jedoucími za testovaným.

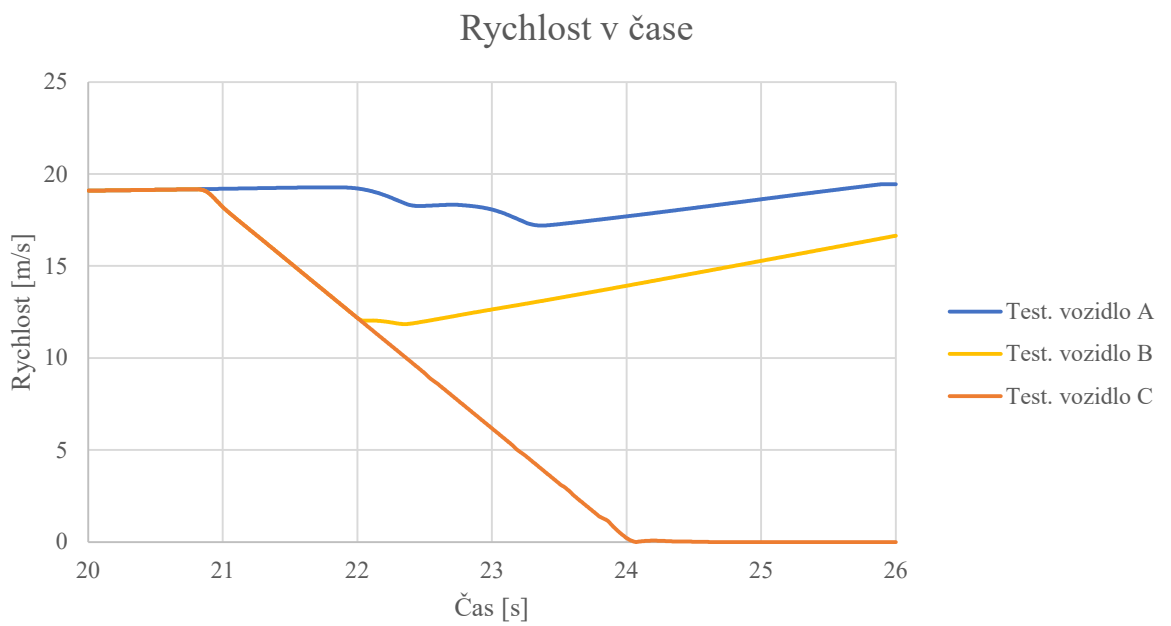
#### *Poznámka*

*Pro lepší orientaci v konfiguraci variant tohoto testu je možné nahlédnout na stranu 22, kde jsou taktéž uvedena schémata na obrázcích 7 a 8.*

### 8.1.3 Rychlost testovacího vozidla: 70 km/h

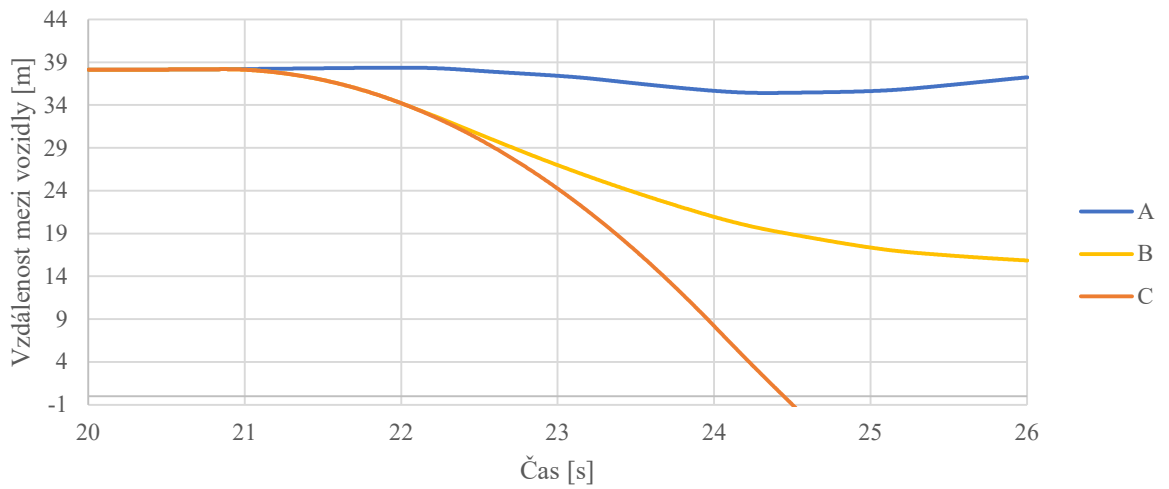


Obrázek 31



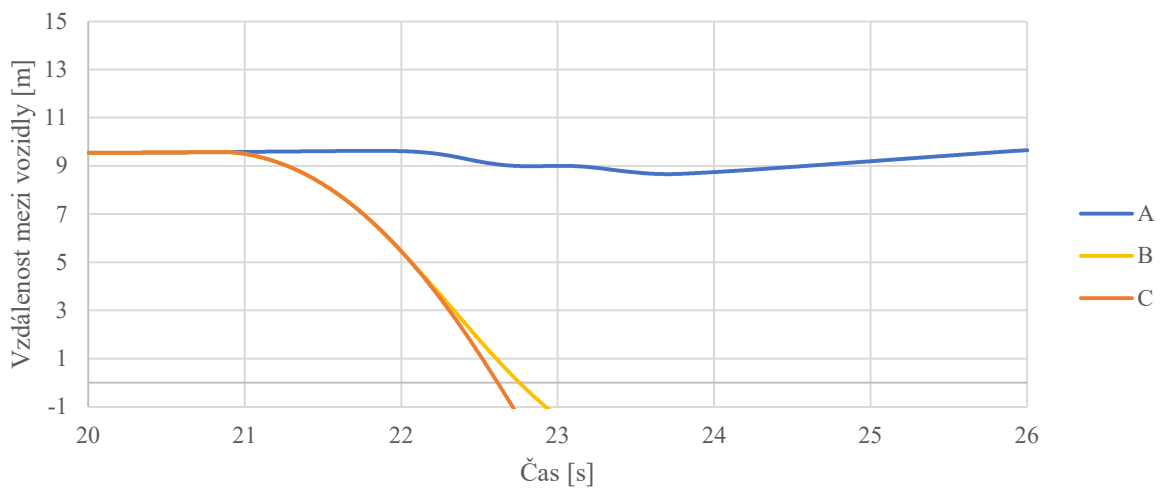
Obrázek 32

Vzdálenost mezi testovaným vozidlem a vozidlem (V00)  
jedoucím za ním s počátečním rozestupem 2 s



Obrázek 33

Vzdálenost mezi testovaným vozidlem a vozidlem (V01)  
jedoucím za ním s počátečním rozestupem 0,5 s



Obrázek 34



### **Vyhodnocení z pohledu jízdní dynamiky a zásahu systému AEB, FCW:**

Ve variantě testu A bylo testované vozidlo schopné provést úhybný manévr, nicméně je patrné, že rychlost 70 km/h je již blízko k jeho dynamickým limitům. Při bližší analýze testu byl zpozorován dotyk s kuželi. Testované vozidlo tedy již začíná mít problémy udržet se při této rychlosti na vyznačené trati. Ačkoli to není z grafů přímo patrné, test by v případě sražení kuželů byl vyhodnocen jako neúspěšný.

Ve variantě B došlo k výraznému zásahu systému AEB, který snížil rychlost při úhybném manévru na 11,8 m/s (42,5 km/h). To výrazně napomohlo k plynulému průjezdu vytyčeným úsekem. Tento zásah tedy řidiči usnadnil úhybný manévr.

Ve variantě C došlo k úspěšnému zastavení za překážkou T00 a zabránění tak kolizi s ní.

Funkce FCW u všech variant testu spustí obě varování, u testu B a C je to 2 s před počátkem brzdění prvním varováním a 1 s před druhým.

### **Vyhodnocení z pohledu ovlivnění okolního provozu:**

Jak je možné vidět z grafu na obrázku 31, křivka testovaného vozidla při variantě B i C protíná křivku vozidla V01 jedoucího s rozestupem 0,5 s. Z důvodu zásahu systému AEB a snížení rychlosti by tak došlo ke kolizi. Pro vozidlo V00 je rozestup 2 s dostatečný pro předejití kolizi při zásahu systému AEB ve variantě B. Rozestup se během úhybného manévru však sníží z bezmála 39 na 19 m, jak je možné vidět v grafu na obrázku 33. Při variantě C dojde ke kolizi testovaného vozidla i s vozidlem V00 jedoucím 2 s za ním.

*Poznámka:*

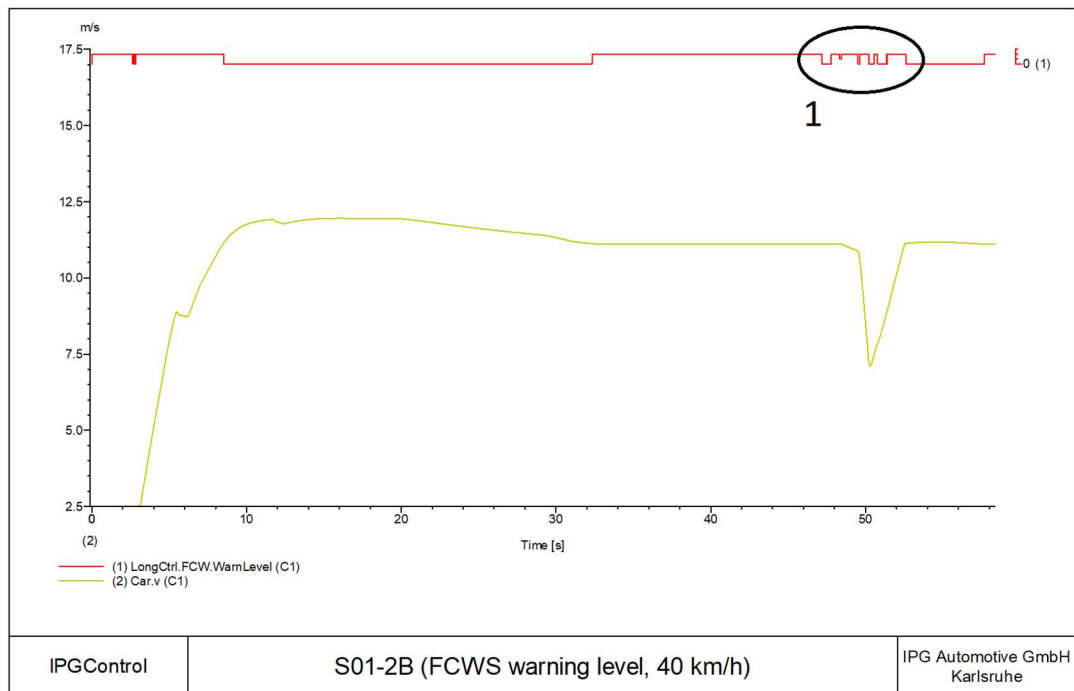
*Pro lepší orientaci v konfiguraci variant tohoto testu je možné nahlédnout na stranu 22, kde jsou taktéž uvedena schémata na obrázcích 7 a 8.*

## 8.2 S01-2Z

Provedené testy s přidaným vozidlem (T01) jedoucím v rozestupu 2 sekund před testovaným vozidlem ukázaly, že jsou výsledky z hlediska funkce systému AEB velice podobné, ne-li totožné s testy provedenými bez tohoto vozidla stínícího radar. Na základě vyhodnocených dat tak bylo ukázáno, že další vozidlo jedoucí vpředu s rozstupem 2 s nemá vliv na reakci příslušného systému AEB. Stejně tvrzení však nelze aplikovat na funkci FCW, varování jsou z výstupních hodnot simulace nejasná a nelze tak říci, zda proběhla ve správnou chvíli. Vozidlo jedoucí vpředu pouze s minimálním rozstupem systému ACC 0,5 s pak ovlivní negativně oba systémy.

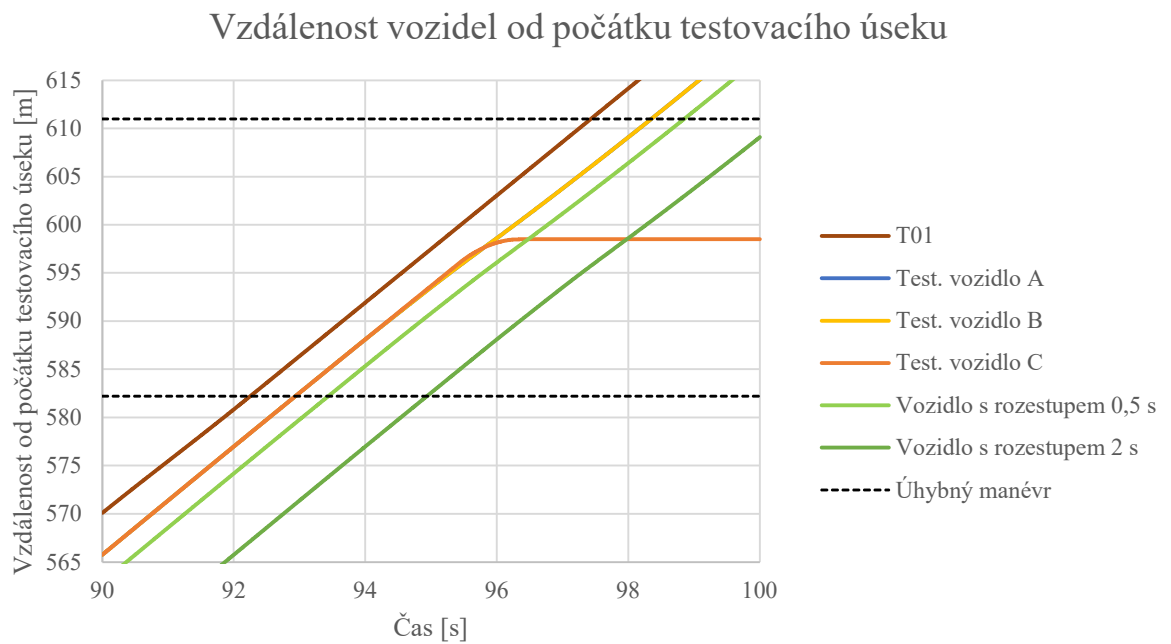
Uvedené grafy v této kapitole ukazují případy, kdy vozidlo vpředu jede s rozstupem 0,5 s před testovaným vozidlem. Tyto grafy je možné porovnávat s grafy pro stejnou testovací rychlost v testech S01-1Z, jelikož, jak již bylo řečeno, výsledky reakce systému AEB v tomto testu jsou stejné jako při rozstupem 2 s od vozidla jedoucího vpředu. Funkce FCW není obsahem grafů a její vyhodnocení je omezeno pouze na slovní, které je uvedeno výše. V této kapitole jsou tedy především komentovány rozdíly pro funkci AEB mezi testy S01-1Z a testy S01-2Z (0,5 s).

Na obrázku 35 je možné vidět výstupní data popisující aktivaci funkce FCW z testu S01-2B při rychlosti 40 km/h. Díky zobrazenému průběhu rychlosti testovaného vozidla je možné určit oblast úhybného manévru. Tato oblast je označena číslicí 1

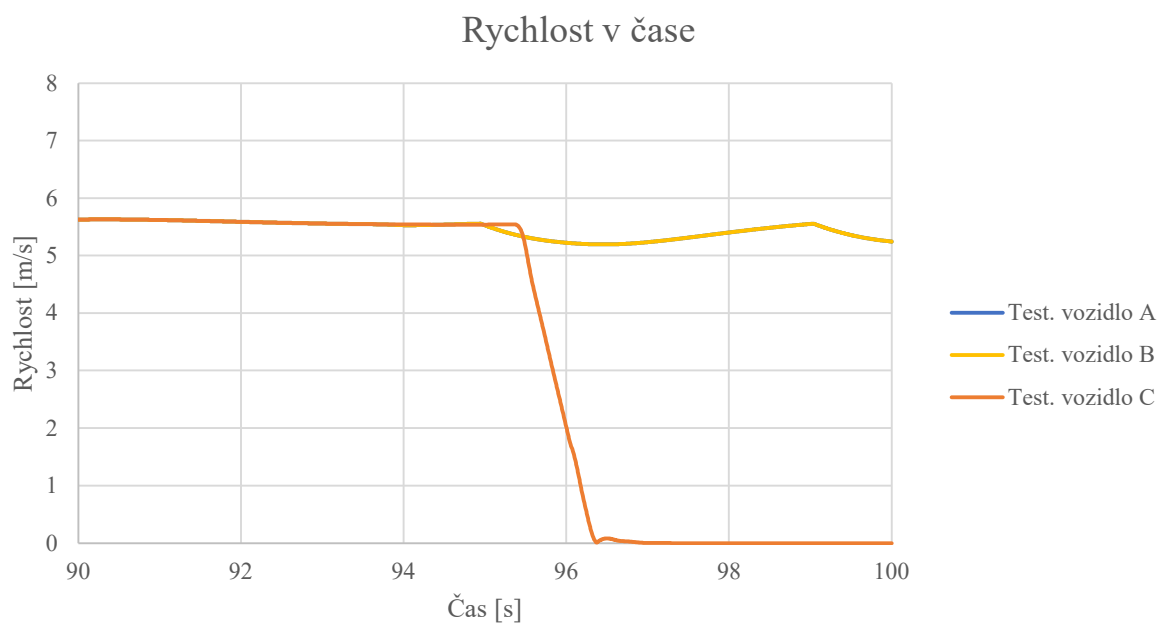


Obrázek 35 - Výstupní data popisující stupně varování FCW

## 8.2.1 Rychlost testovacího vozidla: 20 km/h

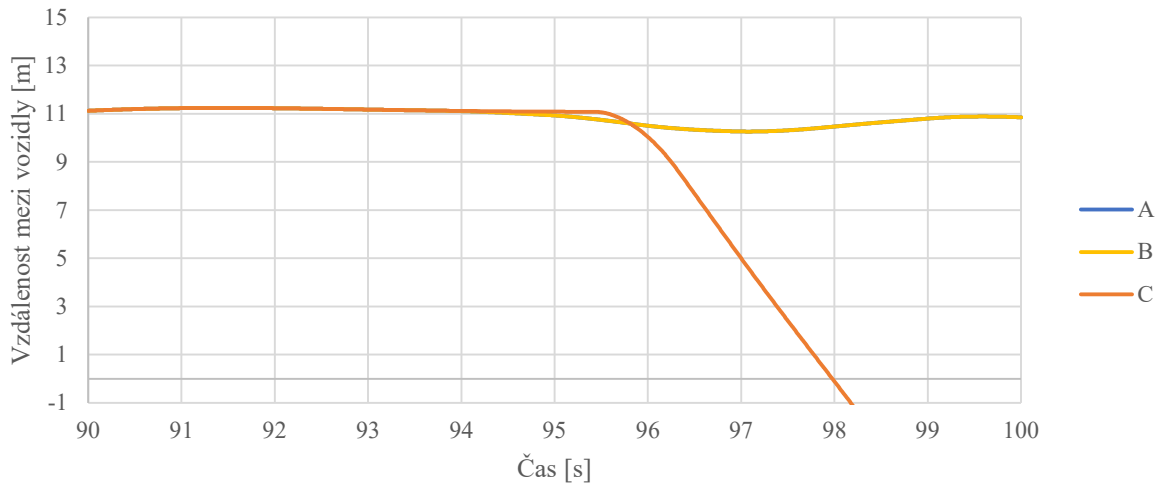


Obrázek 36



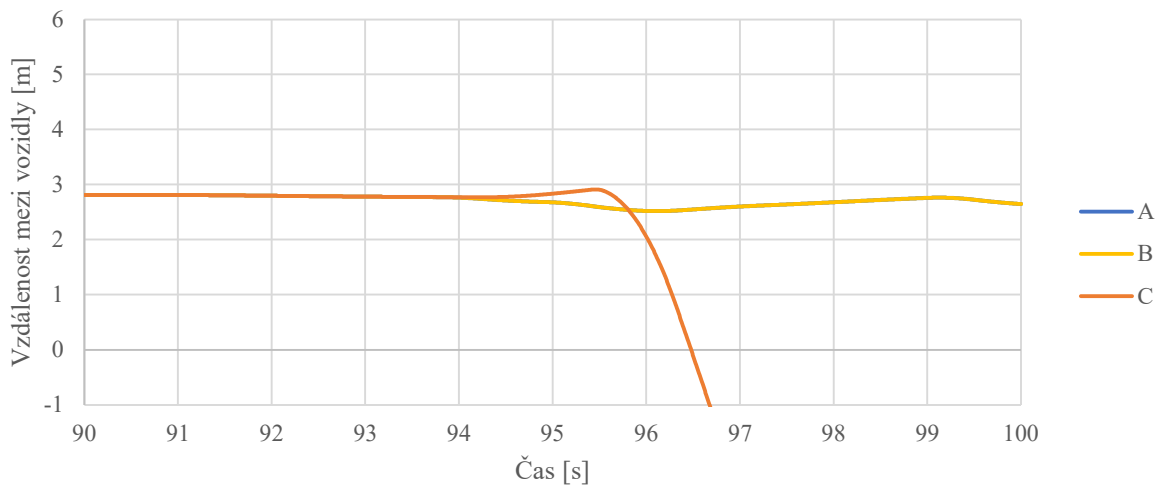
Obrázek 37

Vzdálenost mezi testovaným vozidlem a vozidlem (V00)  
jedoucím za ním s počátečním rozstupem 2 s



Obrázek 38

Vzdálenost mezi testovaným vozidlem a vozidlem (V01)  
jedoucím za ním s počátečním rozstupem 0,5 s



Obrázek 39

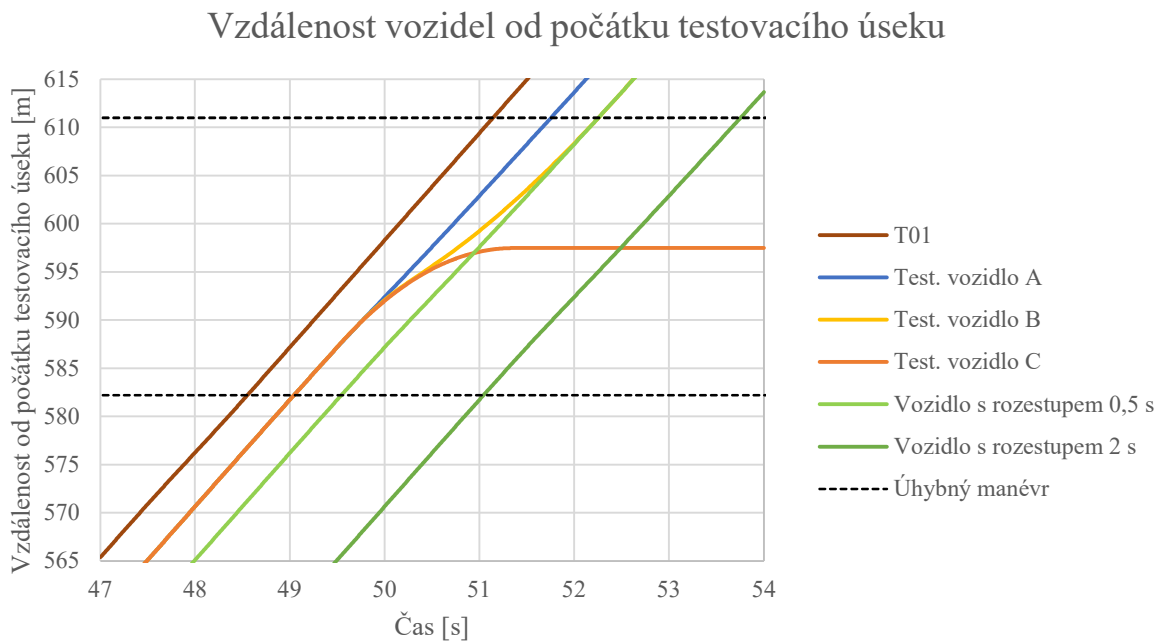
### Vyhodnocení

Při testovací rychlosti 20 km/h nemá vozidlo T01, jedoucí vpředu s rozstupem 0,5 s, vliv na výsledek testu. Je to dáno tím, že při takto nízké rychlosti nedojde u varianty B k aktivaci systému AEB, a tedy není co by v tomto případě dodatečně vozidlo oproti testu bez něj ovlivnilo. U varianty C se při aktivaci AEB vozidlo T01 již nenachází před testovaným. Komentář k vyhodnocení tedy platí stejný jako u testu S01-1Z (20 km/h).

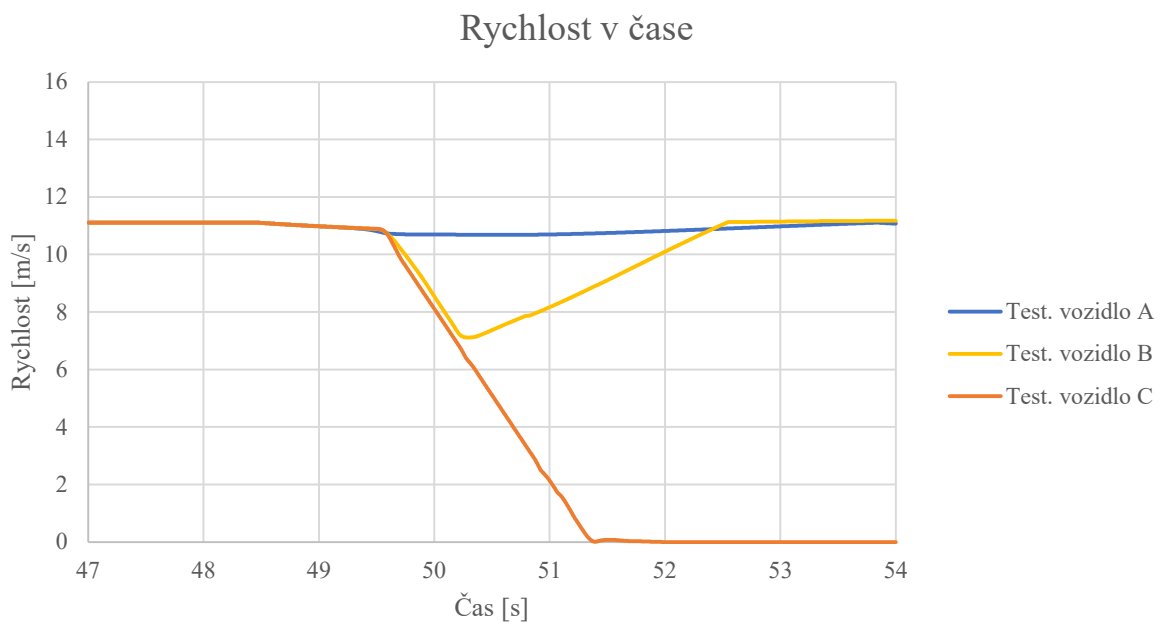
*Poznámka:*

*Pro lepší orientaci v konfiguraci variant tohoto testu je možné nahlédnout na stranu 23, kde jsou taktéž uvedena schémata na obrázcích 9 a 10.*

## 8.2.2 Rychlost testovacího vozidla: 40 km/h

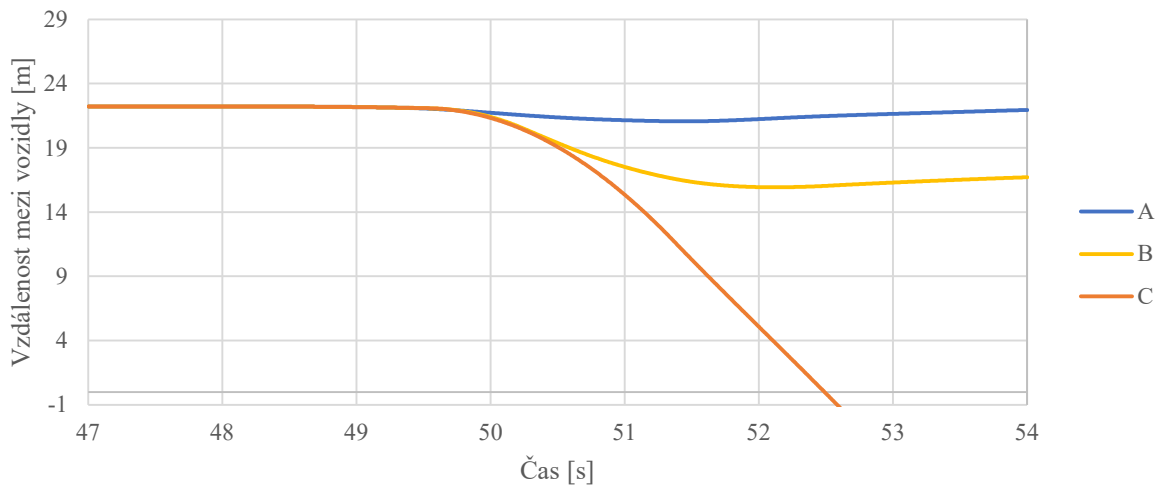


Obrázek 40



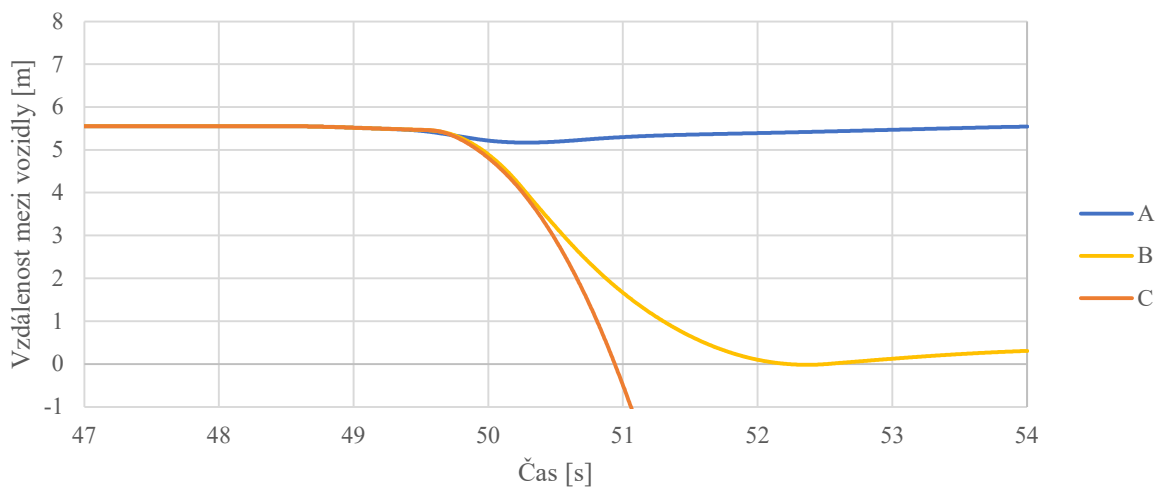
Obrázek 41

Vzdálenost mezi testovaným vozidlem a vozidlem (V00)  
jedoucím za ním s počátečním rozstupem 2 s



Obrázek 42

Vzdálenost mezi testovaným vozidlem a vozidlem (V01)  
jedoucím za ním s počátečním rozstupem 0,5 s



Obrázek 43

### **Vyhodnocení z pohledu jízdní dynamiky a zásahu systému AEB, FCW:**

Varianta testu A jeví oproti testu S01-1A menší výkyv rychlosti z důvodu úhybného manévru. Příčina je neznámá, ale byla vyloučena souvislost s vozidlem T01 jedoucím před testovaným.

Oproti variantě testu S01-1B při tomto testu (S01-2B) s přidaným vozidlem T01 proběhne zásah systému AEB později a intenzivněji.

Ve variantě C bylo vozidlo schopno pomocí AEB zastavit za překážkou T00 a předejít kolizi.

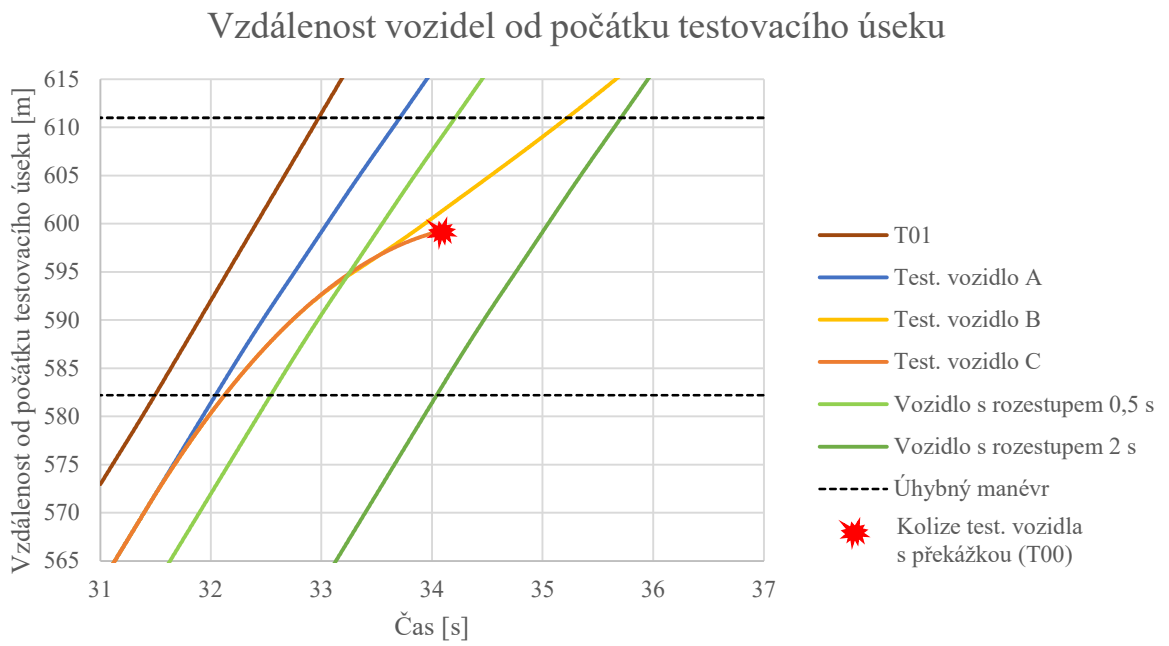
### **Vyhodnocení z pohledu ovlivnění okolního provozu:**

Intenzivnější zásah systému AEB má za následek výraznější snížení rychlosti, a tedy i rozestupu mezi vozidly jedoucími za testovaným. Snížená průjezdová rychlost při testu bez vozidla T01 blokujícího radar je 8,7 m/s (31,3 km/h), kdežto při tomto testu je 6,9 m/s (24,8 km/h), tedy o 1,8 m/s (6,5 km/h) nižší. Při variantě B tak dojde ke kolizi s vozidlem V01 v rozestupu 0,5 s již při testovací rychlosti 40 km/h. Kolize je patrná z grafu na obrázku 43, kdy křivka popisující rozestup klesne na 0 m.

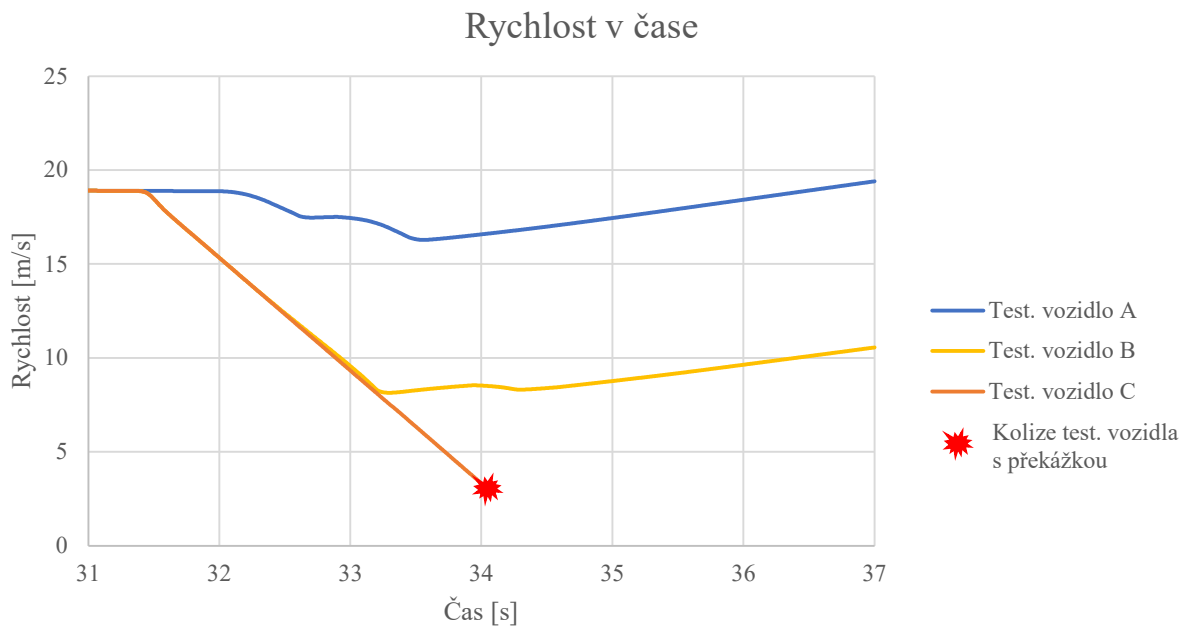
#### *Poznámka:*

*Pro lepší orientaci v konfiguraci variant tohoto testu je možné nahlédnout na stranu 23, kde jsou taktéž uvedena schémata na obrázcích 9 a 10.*

### 8.2.3 Rychlost testovacího vozidla: 70 km/h



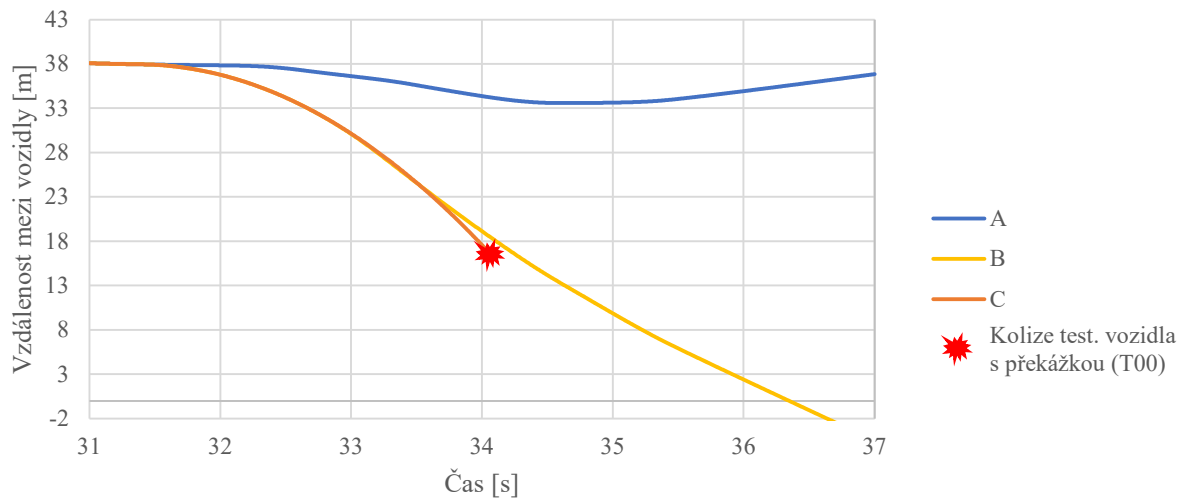
Obrázek 44



Obrázek 45

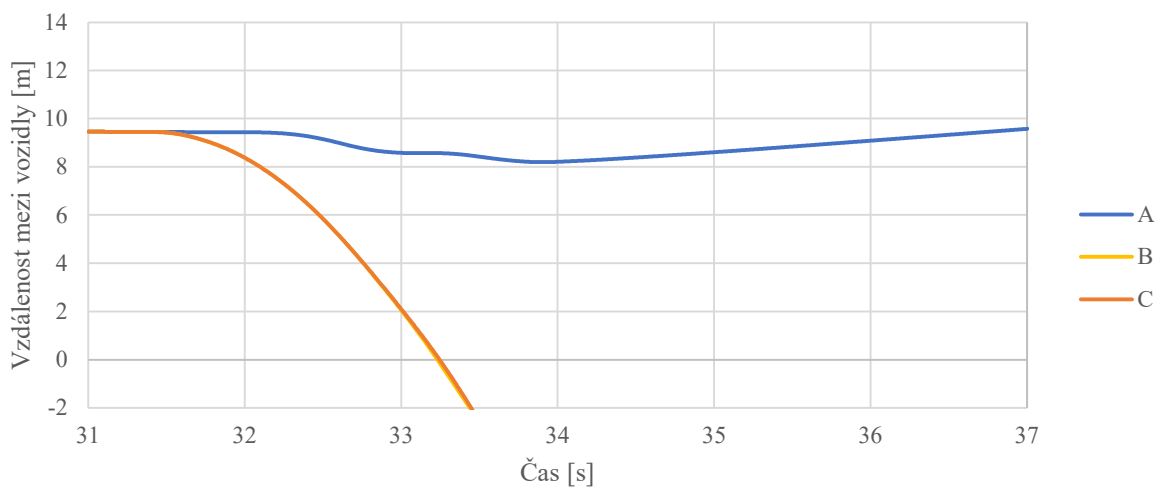


Vzdálenost mezi testovaným vozidlem a vozidlem (V00)  
jedoucím za ním s počátečním rozstupem 2 s



Obrázek 46

Vzdálenost mezi testovaným vozidlem a vozidlem (V01)  
jedoucím za ním s počátečním rozstupem 0,5 s



Obrázek 47

### **Vyhodnocení z pohledu jízdní dynamiky a zásahu systému AEB, FCW:**

Varianta A vykazuje očekávaně stejný průjezd jako při testu S01-1A.

Oproti variantě testu S01-1B při tomto testu (S01-2B) s přidaným vozidlem T01 opět proběhne zásah systému AEB později a intenzivněji, stejně jako je tomu při testovací rychlosti 40 km/h.

Ve variantě C nebylo vozidlo schopno pomocí AEB zastavit za překážkou T00, reakce systému AEB byla negativně ovlivněna (zpožděna) vozidlem stínícím radar a došlo ke kolizi s překážkou T00 při rychlosti 3,4 m/s (12,2 km/h).

### **Vyhodnocení z pohledu ovlivnění okolního provozu:**

Intenzivnější zásah systému AEB má za následek výraznější snížení rychlosti, a tedy i rozestupu mezi vozidly jedoucími za testovaným. Snížená průjezdová rychlost při testu bez vozidla T01 blokujícího radar je 11,7 m/s (42 km/h), kdežto při tomto testu je 7,8 m/s (28 km/h), tedy o 3,9 m/s (14 km/h) nižší. Při variantě B tak dojde ke kolizi s vozidly následujícími v rozestupu 0,5 s i 2 s. Kolize jsou patrné z grafů na obrázcích 46 a 47. V grafu na obrázku 44 je ale možné vidět, že kolize mezi testovaným vozidlem a vozidlem V01 by nastala až po průjezdu manévrem, tedy tato kolize není započítána do výsledku testu, který končí úspěšným ukončením manévru.

Ve variantě C dojde primárně ke kolizi s překážkou.

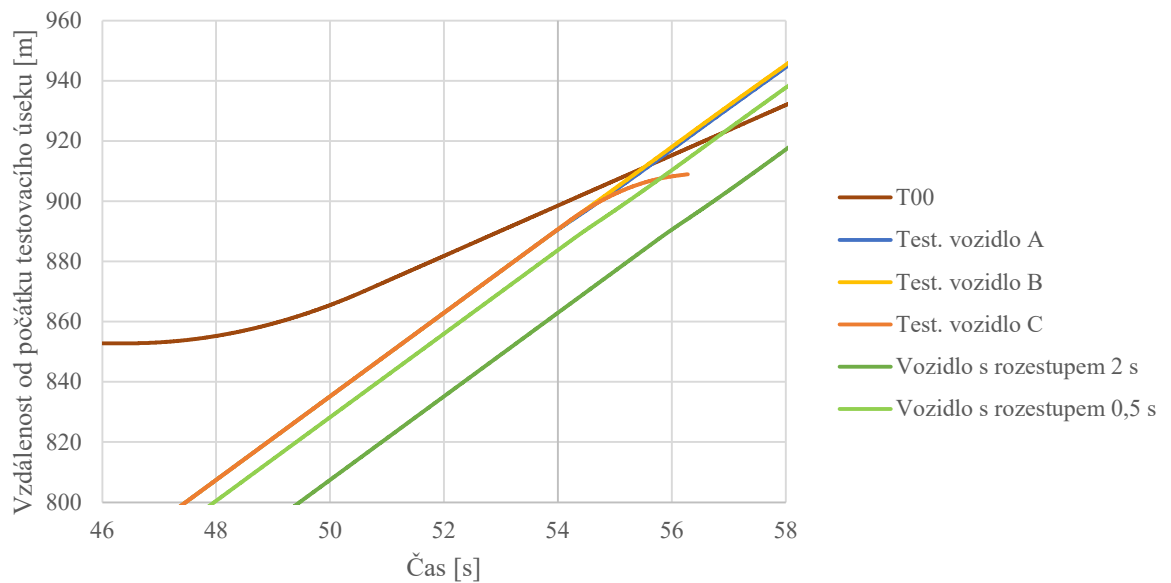
*Poznámka:*

*Pro lepší orientaci v konfiguraci variant tohoto testu je možné nahlédnout na stranu 23, kde jsou taktéž uvedena schémata na obrázcích 9 a 10.*

## 8.3 S02-1Z

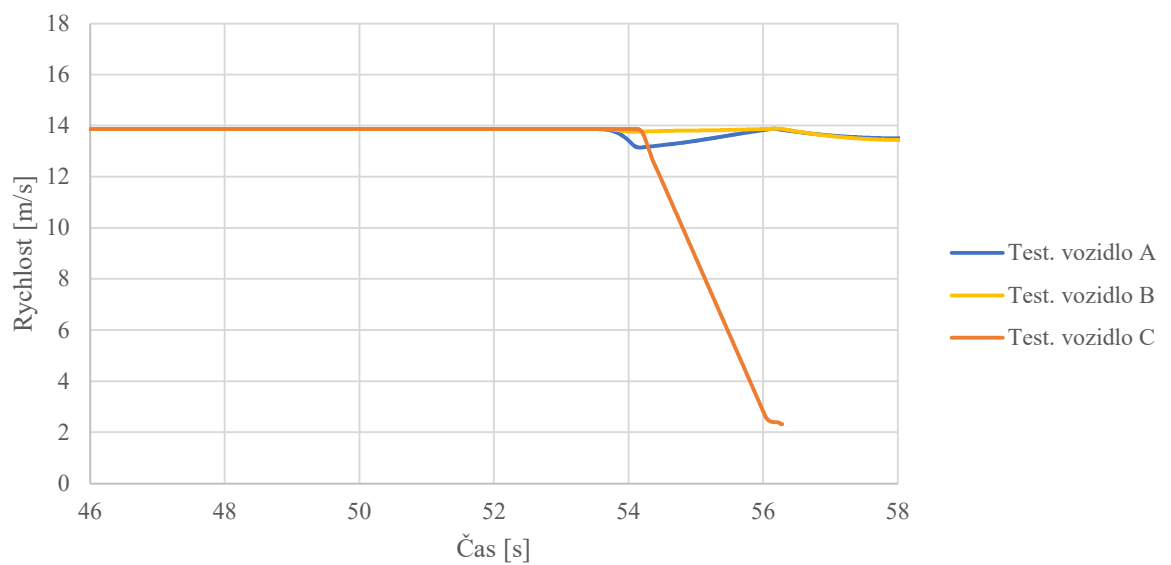
### 8.3.1 Rychlost testovaného vozidla: 50 km/h

Vzdálenost vozidel od počátku testovacího úseku



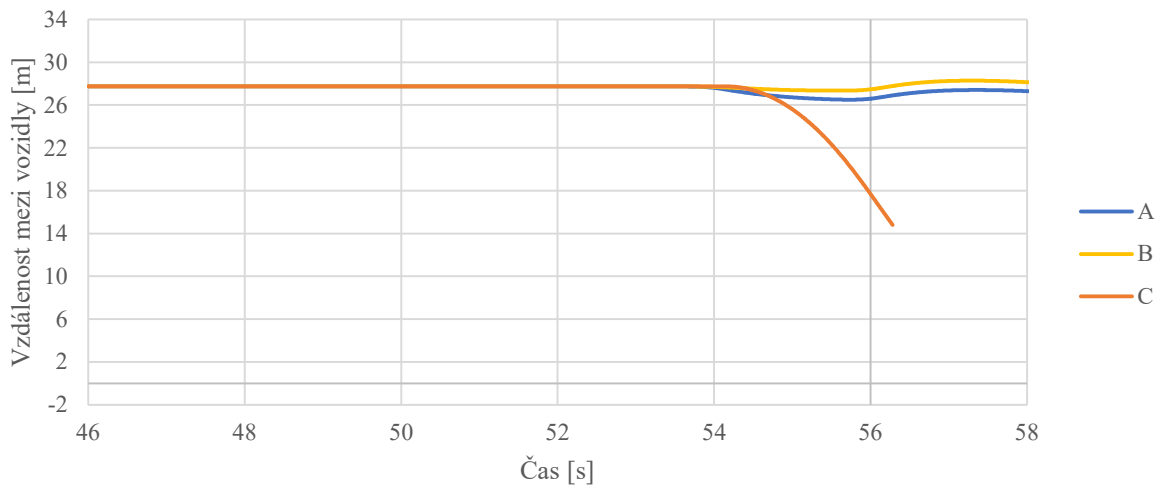
Obrázek 48

Rychlost v čase



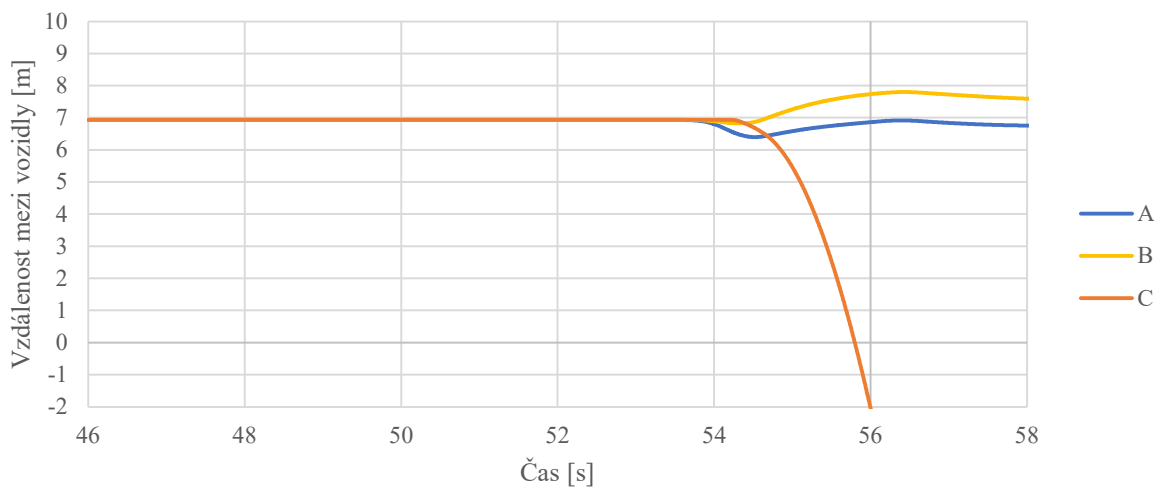
Obrázek 49

Vzdálenost mezi testovaným vozidlem a vozidlem (V00)  
jedoucím za ním s počátečním rozstupem 2 s



Obrázek 50

Vzdálenost mezi testovaným vozidlem a vozidlem (V01)  
jedoucím za ním s počátečním rozstupem 0,5 s



Obrázek 51

**Vyhodnocení z pohledu jízdní dynamiky a zásahu systému AEB, FCW:**

Vozidla ve variantě A i B se plynule vyhnou překážce T00. Při variantě testu B nedojde k aktivaci systému AEB.

Ve variantě C dojde téměř k zastavení testovaného vozidla, test se tedy ukončí a křivka pro tento případ proto končí dříve než ostatní.

**Vyhodnocení z pohledu ovlivnění okolního provozu:**

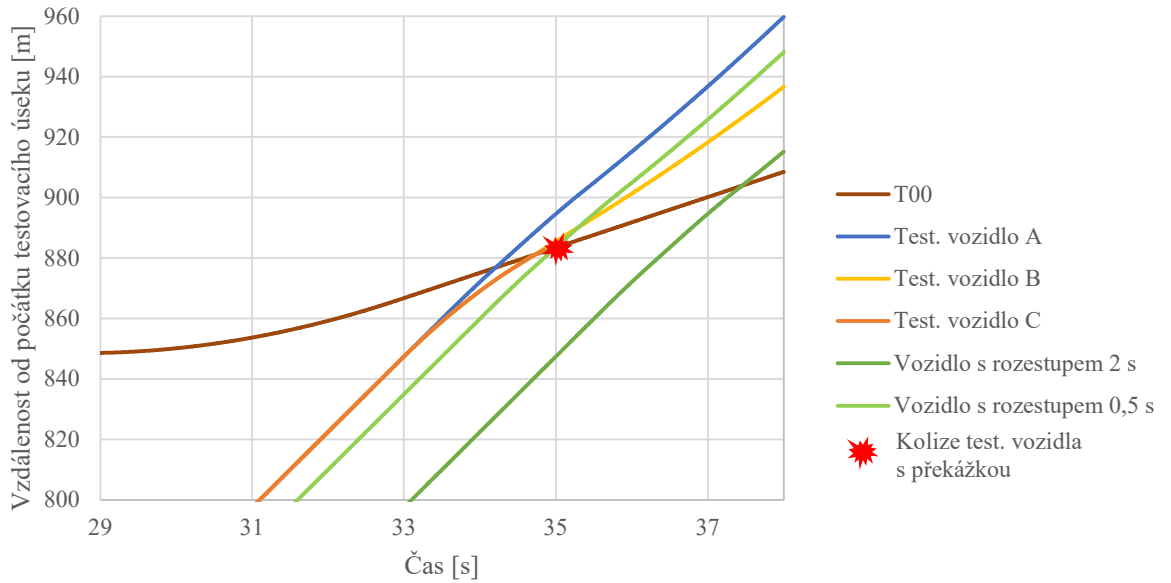
Jelikož ve variantě B nedojde k aktivaci systému AEB, rozestup mezi vozidly zůstane zachován a nedojde k ovlivnění okolního provozu.

*Poznámka:*

*Pro lepší orientaci v konfiguraci variant tohoto testu je možné nahlédnout na stranu 24, kde jsou taktéž uvedena schémata na obrázcích 11 a 12.*

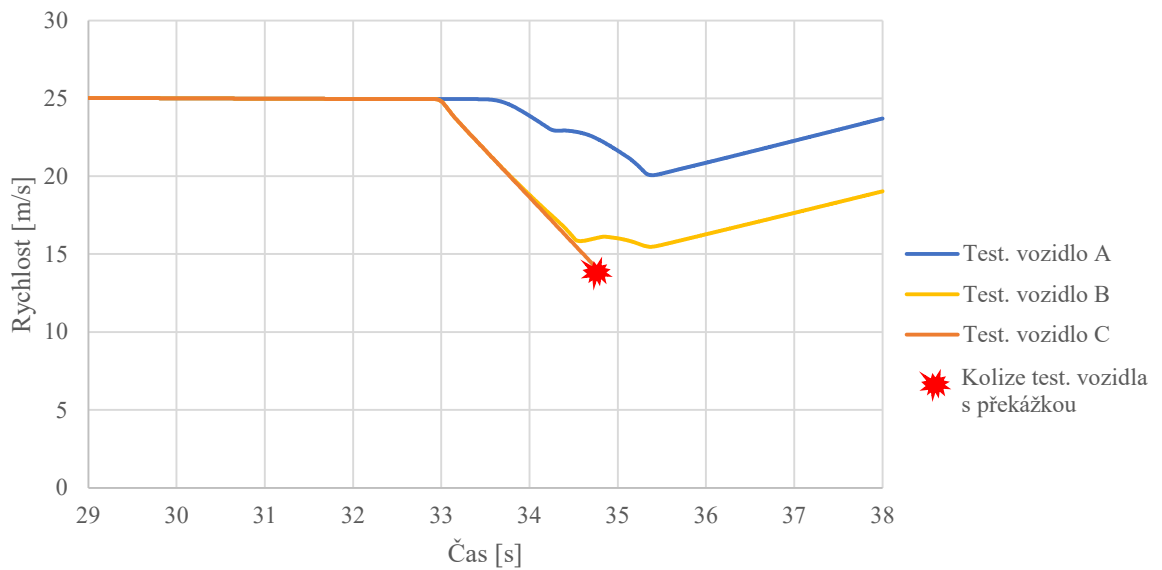
### 8.3.2 Rychlost testovaného vozidla: 90 km/h

Vzdálenost vozidel od počátku testovacího úseku



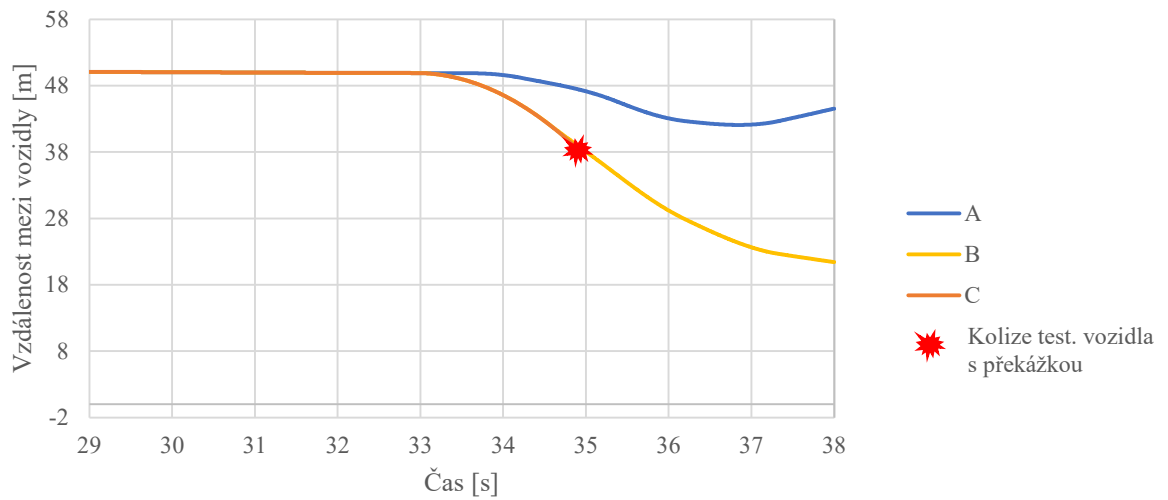
Obrázek 52

Rychlost v čase



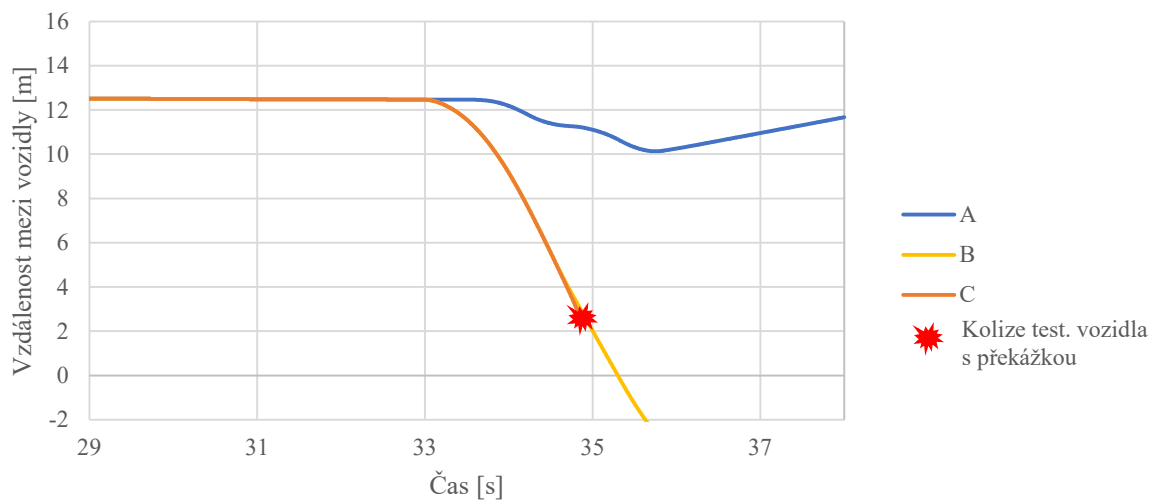
Obrázek 53

Vzdálenost mezi testovaným vozidlem a vozidlem (V00)  
jedoucím za ním s počátečním rozstupem 2 s



Obrázek 54

Vzdálenost mezi testovaným vozidlem a vozidlem (V01)  
jedoucím za ním s počátečním rozstupem 0,5 s



Obrázek 55

### **Vyhodnocení z pohledu jízdní dynamiky a zásahu systému AEB, FCW:**

Z grafu na obrázku 55 je patrné, že i vozidlo ve variantě A výrazně sníží při úhybném manévru rychlost (o 18 km/h). Nedochozí k aktivaci systému AEB, ale příčinou je v rychlosti 90 km/h již obtížný manévr, kdy vozidlo přechází do smyku a do řízení zasahuje systém ESP. Při této rychlosti sice nedojde ke kolizi s překážkou T00, ale nelze již mluvit o úspěšném absolvování testu, protože vozidlo vyjíždí z vyznačené trati.

Ve variantě testu B do řízení výrazně zasahuje systém AEB, který sníží rychlost na 15,3 m/s (55 km/h) a umožní tak plynulejší průjezd úhybným manévrem.

Ve variantě C dojde k aktivaci systému AEB, ale srážce s překážkou se bez úhybného manévru zabránit nepovede. K té dojde v rychlosti 13,6 m/s (50 km/h).

Systém FCW funguje ale správně dle svého nastavení, tedy pro variantu B a C 2 a 1 sekundu před počátkem brzdění.

### **Vyhodnocení z pohledu ovlivnění okolního provozu:**

Při variantě A nedojde k nijak výraznému snížení vzdálenosti mezi testovaným vozidlem a vozidly následujícími. Ve variantě B dojde ke kolizi s vozidlem V01, nicméně při rozestupu 2 s ani v případě takto silného zásahu AEB nenastane kolize s vozidlem V00.

Při variantě C dojde primárně ke kolizi s překážkou, eventuelně by se daly očekávat i kolize s oběma následujícími vozidly.

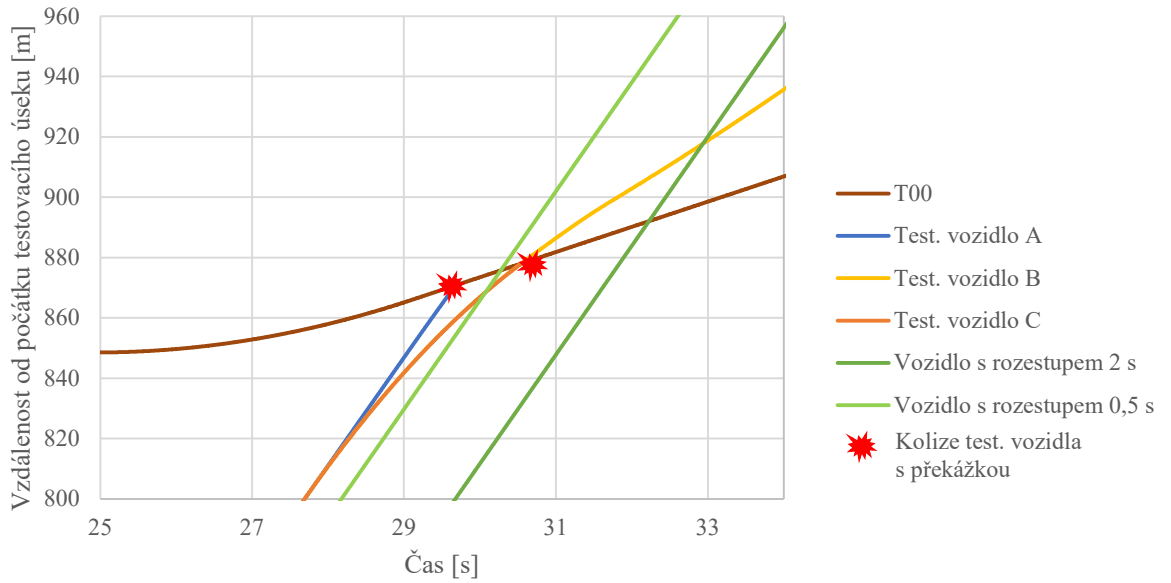
*Poznámka:*

*Pro lepší orientaci v konfiguraci variant tohoto testu je možné nahlédnout na stranu 24, kde jsou taktéž uvedena schémata na obrázcích 11 a 12.*



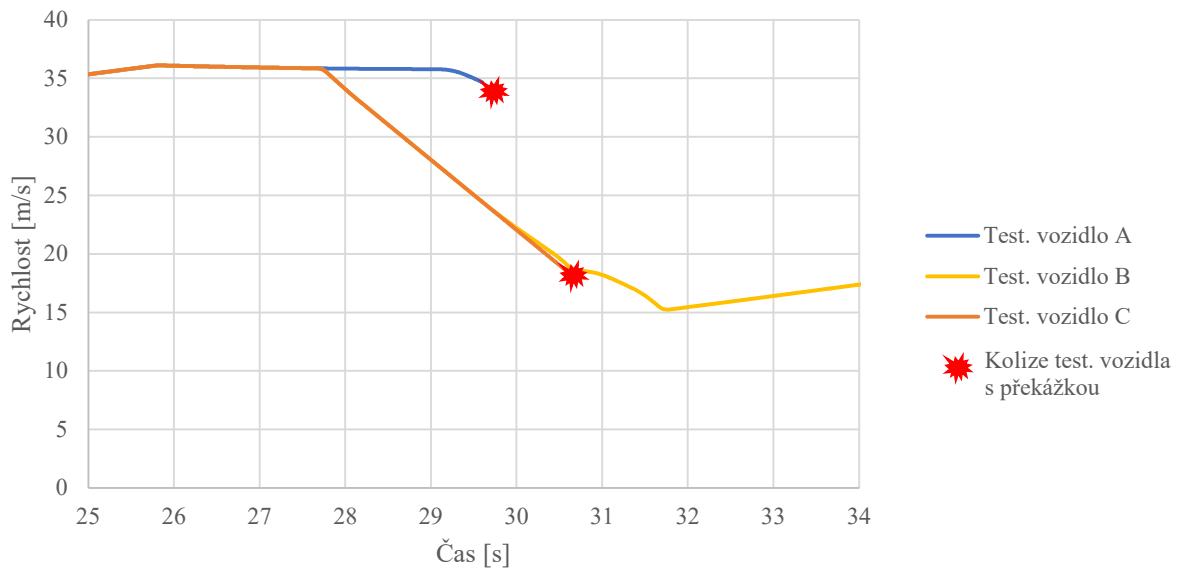
### 8.3.3 Rychlost testovaného vozidla: 130 km/h

Vzdálenost vozidel od počátku testovacího úseku



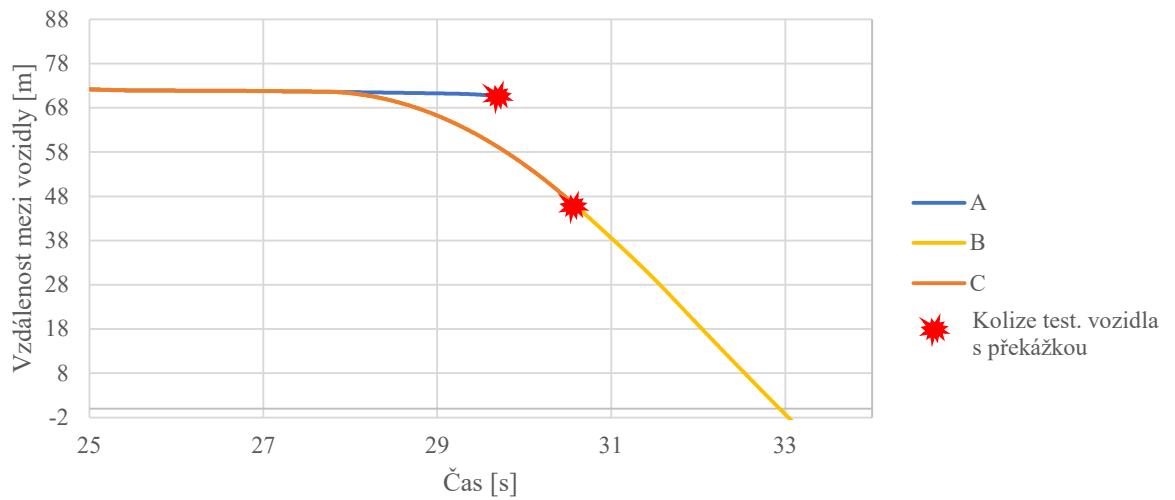
Obrázek 56

Rychlost v čase



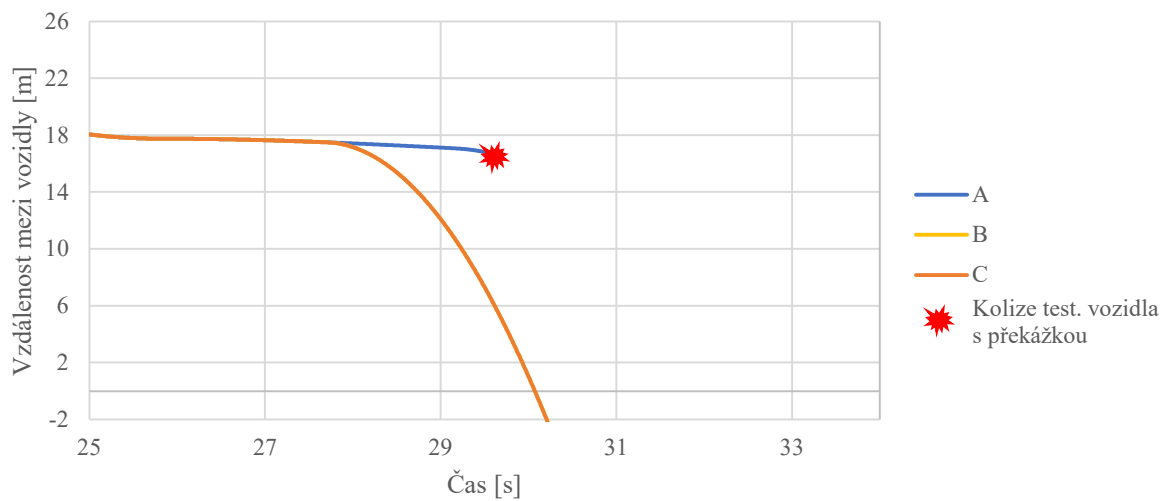
Obrázek 57

Vzdálenost mezi testovaným vozidlem a vozidlem (V00)  
jedoucím za ním s počátečním rozstupem 2 s



Obrázek 58

Vzdálenost mezi testovaným vozidlem a vozidlem (V01)  
jedoucím za ním s počátečním rozstupem 0,5 s



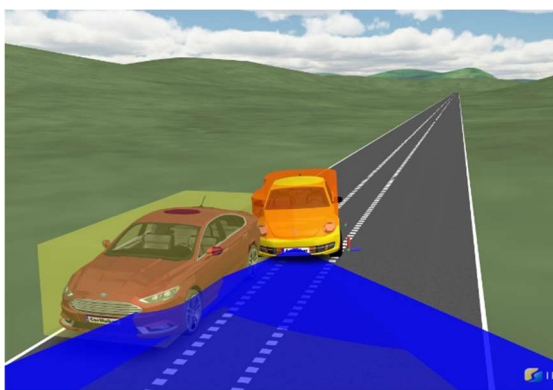
Obrázek 59

### Vyhodnocení z pohledu jízdní dynamiky a zásahu systému AEB, FCW:

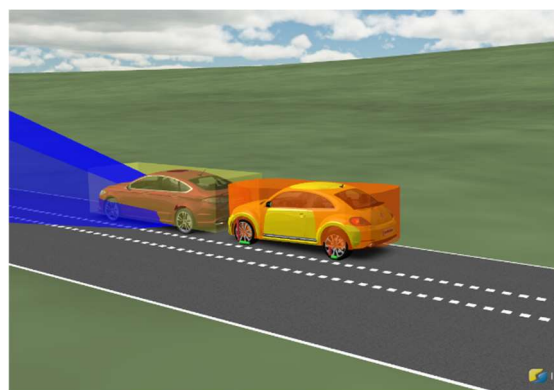
Z grafu na obrázku 56 je patrné, že testované vozidlo ve variantě A i C narazí do pohybující se překážky. Pro vozidlo varianty A to plyne z příliš vysoké rychlosti pro provedení předepsaného manévru a u vozidla ve variantě C se jedná o nedostatečný zásah systému AEB.

Vozidlo ve variantě B se zdá provede úhybný manévr úspěšně, nicméně po bližší analýze simulace je patrné, že při manévru vyjede z trati. Ani v případě B tedy nelze mluvit o úspěšném testu.

Stejně jako při rychlosti 90 km/h FCW funguje správně dle svého nastavení, to znamená 2 a 1 s před počátkem brzdění pro varianty B a C. Intenzita brzdění tak pravděpodobně není dostatečná pro zabránění střetu.



Obrázek 60 - Kolize s překážkou, varianta A



Obrázek 61 - Kolize s překážkou, varianta C

### Vyhodnocení z pohledu ovlivnění okolního provozu:

Při této rychlosti už zřejmě není na místě vyhodnocovat vliv na okolní provoz stejným způsobem jako tomu bylo u předchozích variant. Vozidlo při testu A, ze kterého následně vychází fiktivní vozidla (V00 a V01 jedoucí za testovaným), nebylo schopno provést úhybný manévr a srazilo se s překážkou. Následující vozidla jsou tedy opravdu jen teoretický případ, ale v realitě by pravděpodobně bez významného snížení rychlosti nebyla šance na úspěšný průjezd vytyčeným úsekem.

*Poznámka:*

*Pro lepší orientaci v konfiguraci variant tohoto testu je možné nahlédnout na stranu 24, kde jsou taktéž uvedena schémata na obrázcích 11 a 12.*

## 8.4 Vyhodnocení testů jako celku

V tabulce 5 je uveden souhrn zpracovaných testovacích scénářů a jejich výsledek. Tabulka popisuje, zda nastala či nenastala kolize s překážkou T00 či vozidly jedoucími za testovaným s daným rozestupem v příslušné testové variantě a průjezdové rychlosti.

Vysvětlivky

- Typ kolize
  - o KP – kolize s překážkou
  - o K0,5 – náraz vozidla jedoucího za testovaným s rozestupem 0,5 s do testovaného
  - o K2 – náraz vozidla jedoucího za testovaným s rozestupem 2 s do testovaného
- Označení výsledků testu na základě jednotlivých kolizí „K(P / 0,5 / 2)“
  - o **N** – kolize nenastala
  - o **Y** – kolize nastala
  - o **X** – nehodnoceno
  - o **AEB** – aktivováno / **AEB** – neaktivováno

Tabulka 5 - souhrn výsledků zpracovaných testů

Testovací rychlost	20 km/h	40 km/h	70 km/h
Typ kolize	KP / K0,5 / K2 – AEB	KP / K0,5 / K2 – AEB	KP / K0,5 / K2 – AEB
<b>S01-1Z</b>			
A	N / N / N – AEB	N / N / N – AEB	N / N / N – AEB
B	N / N / N – AEB	N / N / N – AEB	N / Y / N – AEB
C	N / Y / Y – AEB	N / Y / Y – AEB	N / Y / Y – AEB
<b>S01-2Z</b>			
A (2 s)	N / N / N – AEB	N / N / N – AEB	N / N / N – AEB
A (0,5 s)	N / N / N – AEB	N / N / N – AEB	N / N / N – AEB
B (2 s)	N / N / N – AEB	N / N / N – AEB	N / Y / N – AEB
B (0,5 s)	N / N / N – AEB	N / Y / N – AEB	N / Y / N – AEB
C (2 s)	N / Y / Y – AEB	N / Y / Y – AEB	N / Y / Y – AEB
C (0,5 s)	N / Y / Y – AEB	N / Y / Y – AEB	Y / Y / Y – AEB
Testovací rychlost	50 km/h	90 km/h	130 km/h
Typ kolize	(KP / K0,5 / K2)	(KP / K0,5 / K2)	(KP / K0,5 / K2)
<b>S02-1Z</b>			
A	N / N / N – AEB	N / N / N – AEB	Y / Y / Y – AEB
B	N / N / N – AEB	N / Y / N – AEB	N / Y / X – AEB
C	N / Y / Y – AEB	Y / Y / Y – AEB	Y / Y / Y – AEB

Na základě vyhodnocených dat z provedených simulací je možné říci, že za rychlosti 40 km/h je případný zásah systému AEB při provádění úhybného manévru nežádoucí. Tento zásah nijak nenapomůže řidiči v provedení úhybného manévru a má potenciálně šanci ohrozit dopravu za sebou. Jak je možné vidět v testu S01-1Z, dojde ke krátké aktivaci AEB, která rozhodí plynulost úhybného manévru. Zásah je krátký a v dané rychlosti při úhybném manévru nečekaný. Rychlost je sice nízká a ke kolizi s vozidlem jedoucí v závěsu nedojde, nicméně toto vozidlo bude muset nějakým způsobem zareagovat na snížení rozestupu, což potenciálně může narušit plynulost provozu.

V rychlostech blížících se 70 km/h se testované vozidlo dostává při úhybném přibližuje manévru ke svým dynamickým limitům. Zásah systému AEB je výrazný a ovlivní negativně provoz za vozidlem, nicméně dle simulace zásadně napomůže testovanému vozidlu v průjezdu úhybným manévrem. Významná pomoc pro provedení úhybného manévru pak přetrvává i při zvyšování rychlosti. To je možné vidět na výsledcích testu S02-1Z. Bez systému AEB je vozidlo schopno provést úhybný manévr zhruba do rychlosti 90 km/h, zatímco s pomocí AEB až do rychlosti 120 km/h. Samotný manévr samozřejmě neprobíhá v rychlosti 120 km/h, ale pomocí AEB dojde ke snížení této rychlosti (konkrétně na 64,8 km/h). Otázkou tedy je kdy a do jaké míry je zásah AEB nutný. Pro správnou odpověď by měla být objektivně posouzena míra rizika vytvoření krizové situace a jejích následků při obou scénářích. To znamená: zaprvé při průjezdu bez zásahu AEB a řešením vzniklé krizové situace až při jejím vzniku (pomocí systému ESP) bez eventuálního ovlivnění okolního provozu a zadruhé zásahem AEB s potenciálním vytvořením krizové situace pro vozidla jedoucím v závěsu.

Simulace ukázala problém vozidla bezpečně zastavit za pohybující překážkou při testových variantách C. Při rychlosti 90 km/h a vyšší dojde i přes včasnou aktivaci AEB ke kolizi. Správná aktivace je podložena i systémem FCW, který správně varuje 2 a 1 s před počátkem brzdění. Pro porovnání byl vytvořen samostatný test, kdy se překážka nepohybovala a testované vozidlo jelo rychlostí 130 km/h, v takovém případě došlo k bezpečnému zastavení za překážkou. Ačkoli se systém zdá být nastaven správně a se statickou překážkou očividně není problém, v případě pohybující se překážky odporuje jeho chování správnému nastavení.

Co se týče systému FCW, fungoval správně dle nastavení v simulacích, kde nebylo přítomno vozidlo jedoucí před testovaným. V momentě, kdy před vozidlem jelo jiné (ať už s rozstupem 2 nebo 0,5 s) výstupní data pro posouzení správné funkce byla nejasná (viz obrázek 35 na straně 50) a nelze je tak vyhodnotit.

## 9 Návrh podmínek reálných testů a validace získaných výsledků ze simulace

Z provedených simulací a jejich vyhodnocení jsou k dispozici data o chování vozidla během úhybného manévru za různých situací. Tyto data lze použít k sestavení počátečních podmínek pro reálný test a ověřit tak výsledky simulace.

Reálných testů by mělo být co nejméně a měly by pokrýt limitní případy vycházející ze simulace. Cílem pro sestavení reálného testu je tedy nalezení limitních stavů systému AEB a dynamických vlastností testovaného vozidla. Zásadní veličinou je především limitní rychlost, při které lze ještě provést úhybný manévr. Touto rychlostí je myšlena předepsaná testovací rychlost, nikoli rychlost vozidla po zbrzdění systémem AEB. Další posuzovanou veličinou může být rozstup mezi vozidlem jedoucím před testovaným a blokujícím radar.

Za limitní stavy jsou považovány hodnoty z posledního úspěšně provedeného testu, další následující test již končil kolizí testovaného vozidla s překážkou nebo opuštěním vytyčené trati.

Simulace ukazují, že vozidlo jedoucí před testovaným s rozstupem 2 s a blokující radar (při testech S01-2Z) nemá vliv na výsledek testu z pohledu AEB. Nicméně při této variantě vychází výstupní data popisující varování FCW jako nejasná, bylo by tak vhodné ověřit, jak se tento systém opravdu chová v realitě.

Pro ověření odpovídající funkce systému AEB by bylo také vhodné provést reálný test pro variantu B při minimální rychlosti, pro kterou v simulaci došlo k jeho aktivování.

Tabulka 6

Limitní testovací rychlosti pro jednotlivé scénáře			
Test / varianta	A	B	C
S01-1	70 km/h	40 a 70 km/h	70 km/h
S01-2 (0,5 s)	-	40 a 70 km/h	60 km/h
S01-2 (2 s)	70 km/h	40 a 70 km/h	70 km/h
S02-1	90 km/h	60 a 130 km/h	80 km/h

*Připomenutí základních parametrů testových variant A, B a C:*

*Při testové variantě A provede vozidlo úhybný manévr a systém AEB není přítomen, ve variantě B vozidlo provede úhybný manévr za přítomnosti AEB a při variantě C nedojde k provedení úhybného manévru, předejití kolize s překážkou je v režii správné funkce AEB, tzn. zastavení vozidla za překážkou.*

Testy ve virtuálním prostředí probíhaly při normální teplotě za sucha a v bezvětrí, stejné podmínky by měly být dodrženy i při reálném testování

Simulace jsou tvořeny s ohledem na reálné provedení testu. To znamená, že všechny manévry jsou vztaženy na vzdálenost vozidel vůči testovací dráze. V praxi je možné použít optické brány rozmístěné v konkrétních vzdálenostech na testovacím úseku. Po přejetí reflexního pruhu je možné určit polohu vozidla vůči vozovce, případně tyto polohy komunikovat navzájem mezi všemi vozidly figurujícími v testu. Díky tomu je možné dodržet požadované rozestupy a správně načasovat úhybný manévr. Pro načasování manévru by řidič mohl například světelnou signalizací po projetí určitým bodem dostat signál k jeho zahájení. Konkrétní návrh reálných testů však není předmětem této práce a podrobnostem je možné se věnovat v budoucnu.

Validace výsledků získaných ze simulací by následně byla provedena porovnáním grafů ukazující stejné hodnoty v čase jako při vyhodnocování virtuálního testování. Tímto způsobem by bylo možné poměrně přesně určit odchylku jednotlivých sledovaných hodnot. Užitečné by také mohlo být vizuální srovnání simulace a reálného testu z videozáznamu.

## 10 Závěr

V první fázi bakalářské práce byl uveden přehled bezpečnostních a asistenčních systémů současných osobních vozidel a nastíněn směr, kam jejich vývoj v budoucnu směřuje. Zároveň byl vysvětlen základní princip fungování takových systémů a jejich přínos.

Hlavním tématem této práce je virtuální testování systémů integrované bezpečnosti. Před samotnou tvorbou simulací byl popsán přístup k tvorbě metodiky hodnocení těchto systémů vytvořený v rámci projektu PEGASUS. Přiblíženy byly možnosti softwaru IPG CarMaker, ve kterém jsou v této práci simulace zpracovány.

Proběhlo vytvoření simulací tří testovacích scénářů a jejich dílčích variant. Simulace byly provedeny pro každou jednotlivou variantu a výběr z nich byl vyhodnocen v rámci této práce. Mezi hlavní kritéria vyhodnocení se řadí schopnost vozidla projet vytyčenou trať stanovenou rychlostí, míra zásahu systému AEB a s tím související ovlivnění okolního provozu, tedy primárně vozidel jedoucích za testovaným s příslušným rozstupem. Data sledovaných parametrů ze simulací byla vyexportována do souboru Microsoft Excel a následně vložena do grafů. Vyhodnocení proběhlo pomocí těchto grafů.

Na základě vyhodnocených testů došlo ke stanovení vstupních podmínek pro provedení reálných testů. Takové testy mají sloužit k ověření (validaci) výsledků simulace.

### 10.1 Práce do budoucna

Tato práce může sloužit jako dobrý podklad pro věnování se této problematice v budoucnu. Pro budoucí práci by bylo zajímavé vytvořit model reálného vozidla, jak již bylo zmíněno například Škody Fabia 3. generace a vložit jej do vytvořených testovacích scénářů. Zároveň by se mohlo rozšířit spektrum testování o testy pro vozovku se sníženou trakcí nebo za zhoršené viditelnosti. Dále pomocí provedení reálných testů a důkladné analýzy simulací by se dala stanovit chybovost (odchylka) a spolehlivost simulací. Následně by mohla být vytvořena reflexe na současné fungování systémů AEB a podklady pro jejich vylepšení při dalším vývoji.



## 11 Reference

- [1] „BESIP - Asistenční systémy,“ [Online]. Available: <https://besip.cz/Akce-a-kampane/Kampane/Asistencni-systemy>. [Přístup získán 2022 05 01].
- [2] „O ADAS,“ Univerzita Palackého v Olomouci, [Online]. Available: <http://www.adas.upol.cz/o-adas.html>. [Přístup získán 03 02 2022].
- [3] „SAE J3016,“ 30 04 2021. [Online]. Available: [https://www.sae.org/standards/content/j3016\\_202104/](https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/). [Přístup získán 03 02 2022].
- [4] „Antilock Braking System,“ Robert Bosch GmbH, [Online]. Available: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/driving-safety/antilock-braking-system/>. [Přístup získán 06 02 2022].
- [5] „Electronic Stability Program,“ Robert Bosch GmbH, [Online]. Available: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/driving-safety/electronic-stability-program/>. [Přístup získán 01 02 2022].
- [6] „Blind Spot Detection,“ Robert Bosch GmbH, [Online]. Available: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/assistance-systems/blind-spot-detection/>. [Přístup získán 06 02 2022].
- [7] „New ŠKODA Superb – Blind Spot Detect,“ Škoda Auto a.s., 10 05 2016. [Online]. Available: [https://www.skoda-storyboard.com/en/press-releases/inspiring-safety-technology-new-skoda-superb-innovative-assistance-systems-improved-safety-comfort/attachment/su\\_tech\\_003\\_blind\\_spot\\_detect-2/](https://www.skoda-storyboard.com/en/press-releases/inspiring-safety-technology-new-skoda-superb-innovative-assistance-systems-improved-safety-comfort/attachment/su_tech_003_blind_spot_detect-2/). [Přístup získán 06 02 2022].
- [8] „Automatic Emergency Braking,“ Robert Bosch GmbH, [Online]. Available: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/assistance-systems/automatic-emergency-braking/>. [Přístup získán 05 02 2022].
- [9] „Automatic Emergency Braking on Vulnerable Road Users,“ Robert Bosch GmbH, [Online]. Available: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/assistance-systems/automatic-emergency-braking-on-vulnerable-road-users/>. [Přístup získán 05 02 2022].
- [10] „Intelligent Emergency Braking,“ Nissan Motor Corporation, [Online]. Available: [https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/emergency\\_brake.html](https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/emergency_brake.html). [Přístup získán 06 02 2022].
- [11] „Lane Keeping Assist,“ Robert Bosch GmbH, [Online]. Available: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/assistance-systems/lane-keeping-assist/>. [Přístup získán 05 02 2022].

- [12] „Lane Departure Warning,“ Robert Bosch GmbH, [Online]. Available: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/assistance-systems/lane-departure-warning/>. [Přístup získán 05 02 2022].
- [13] „Adaptive Cruise Control,“ Robert Bosch GmbH, [Online]. Available: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/assistance-systems/adaptive-cruise-control/>. [Přístup získán 05 02 2022].
- [14] „Alles wat je moet weten over Adaptive Cruise Control,“ Suzuki, [Online]. Available: <https://www.suzuki.be/nl/blog/alles-wat-je-moet-weten-over-adaptive-cruise-control>. [Přístup získán 06 02 2022].
- [15] „Road Sign Information,“ Robert Bosch GmbH, [Online]. Available: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/assistance-systems/road-sign-information/>. [Přístup získán 05 02 2022].
- [16] V. K. Kukkala, J. Tunnell, S. Pasricha a T. Bradley, „Advanced Driver-Assistance Systems: A Path Toward Autonomous Vehicles,“ *IEEE Consumer Electronics Magazine*, sv. vol. 7, č. no. 5, 09 2018.
- [17] M. I. Skolnik, Radar Handbook, 2, Singapore: McGraw-Hill Book Co., 1962.
- [18] „Front Radar Sensor,“ Robert Bosch GmbH, [Online]. Available: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/sensors/front-radar-sensor/>. [Přístup získán 31 01 2022].
- [19] Y. Li a J. Ibanez-Guzman, „Lidar for autonomous driving: The principles, challenges, and trends for automotive lidar and perception systems,“ *IEEE Signal Processing Magazine*, 29 07 2020. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9127855>. [Přístup získán 30 01 2022].
- [20] „Valeo SCALA 3D Laser Scanner (Gen 2),“ [Online]. Available: <https://autonomoustuff.com/products/valeo-scala-gen-2>. [Přístup získán 30 01 2022].
- [21] „Valeo SCALA LIDAR,“ [Online]. Available: <https://www.valeo.com/en/valeo-scala-lidar/>. [Přístup získán 30 01 2022].
- [22] „Multi Purpose camera,“ Robert Bosch GmbH, [Online]. Available: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/camera/multi-purpose-camera/>. [Přístup získán 30 01 2022].
- [23] „Ultrasonic Sensor,“ Robert Bosch GmbH, [Online]. Available: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/sensors/ultrasonic-sensor/>. [Přístup získán 01 02 2022].
- [24] „About PEGASUS,“ PEGASUS, [Online]. Available: <https://www.pegasusprojekt.de/en/about-PEGASUS>. [Přístup získán 23 02 2022].

- [25] „CarMaker,“ IPG Automotive, [Online]. Available: <https://ipg-automotive.com/en/products-solutions/software/carmaker/>. [Přístup získán 13 02 2022].
- [26] V. Jirovský, METODIKA HODNOCENÍ SYSTÉMŮ INTEGROVANÉ, Praha, 2015.
- [27] „Bezpečná vzdálenost,“ BESIP, [Online]. Available: <https://besip.cz/tematicke-stranky/zasady-bezpecne-jizdy-v-aute/bezpecna-vzdalenost>. [Přístup získán 05 04 2022].

## 12 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Ukázka funkce systému hlídání mrtvého úhlu (BSD) [7].....	12
Obrázek 2 - Ukázka funkce systému AEB [10].....	12
Obrázek 3 - Ukázka funkce systému ACC [14] .....	13
Obrázek 4 - Znázornění rozmístění senzorů ve vozidle a jejich oblasti detekce [16] ....	14
Obrázek 5 - Metodika posuzování funkčnosti ADAS [24].....	18
Obrázek 6 - Ukázka úvodního okna CarMakeru, otevřená záložka „Parameters“ .....	19
Obrázek 7 - Schéma testovacího scénáře S01-1A/B .....	22
Obrázek 8 - Schéma testovacího scénáře S01-1C .....	22
Obrázek 9 - Schéma testovacího scénáře S01-2A/B .....	23
Obrázek 10 - Schéma testovacího scénáře S01-2C .....	23
Obrázek 11 - Schéma testovacího scénáře S02-1A/B .....	24
Obrázek 12 - Schéma testovacího scénáře S02-1C .....	24
Obrázek 13 - Parametry MRR .....	27
Obrázek 14 - Umístění MRR na vozidle .....	27
Obrázek 15 - Možnost aktivace a konfigurace systémů AEB a FCW .....	28
Obrázek 16 - Vozidlo bez ESP .....	29
Obrázek 17 - Vozidlo s ESP .....	29
Obrázek 18 - Příkaz "Lane change" .....	30
Obrázek 19 - Minimanuever Commands.....	31
Obrázek 20 - Graf ukazující vzdálenost místa průniku vozidel.....	33
Obrázek 21 - Seznam všech manévrů testů S01-2Z .....	36
Obrázek 22 - Test Manager .....	38
Obrázek 23 .....	40
Obrázek 24 .....	41
Obrázek 25 .....	42
Obrázek 26 .....	42
Obrázek 27 .....	44
Obrázek 28 .....	44
Obrázek 29 .....	45
Obrázek 30 .....	45
Obrázek 31 .....	47
Obrázek 32 .....	47
Obrázek 33 .....	48
Obrázek 34 .....	48
Obrázek 35 - Výstupní data popisující stupně varování FCW .....	50
Obrázek 36 .....	51
Obrázek 37 .....	51
Obrázek 38 .....	52
Obrázek 39 .....	52
Obrázek 40 .....	53
Obrázek 41 .....	53
Obrázek 42 .....	54
Obrázek 43 .....	54
Obrázek 44 .....	56
Obrázek 45 .....	56

Obrázek 46 .....	57
Obrázek 47 .....	57
Obrázek 48 .....	59
Obrázek 49 .....	59
Obrázek 50 .....	60
Obrázek 51 .....	60
Obrázek 52 .....	62
Obrázek 53 .....	62
Obrázek 54 .....	63
Obrázek 55 .....	63
Obrázek 56 .....	65
Obrázek 57 .....	65
Obrázek 58 .....	66
Obrázek 59 .....	66
Obrázek 60 - Kolize s překážkou, varianta A .....	67
Obrázek 61 - Kolize s překážkou, varianta C .....	67

## **13 Přílohy**

### **13.1 Přílohy na CD**

- Data vytvořených testů v *IPG CarMaker* včetně souborů z *Test Manager* s výsledky všech test. variant
- Excel soubory s daty testů a vytvořenými grafy