

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Petr Borecký

REAKČNÍ ČAS ŘIDIČŮ

Diplomová práce

2018

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

d ě k a n

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K616.....Ústav dopravních prostředků

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Petr Borecký

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – DS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Reakční čas řidičů**

Název tématu (anglicky): The reaction time of drivers

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Popište požadavky kladené na řidiče při řízení vozidla.
- Uveďte faktory ovlivňující jeho reakci na podnět.
- Popište asistenční systémy ovlivňující reakční dobu řidiče a s nimi související legislativu.
- Navrhněte a realizujte experiment s využitím vozidlového simulátoru, kde provedete ověření reakční doby zvolené skupiny řidičů za Vámi definovaných vstupních podmínek.
- Navrhněte vhodné nástroje pro vyhodnocení experimentu a proveďte jej.
- Výsledky konfrontujte s možností využití vhodných asistenčních systémů pro krizovou situaci ověřenou v rámci experimentu.



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Vlk, František. Automobilová elektronika. 1, Asistenční a informační systémy. Brno: Nakl. Vlk, 2006. ISBN 80-239-6462-3
- VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik. Fahrerassistenz und integrierte Sicherheit: 30. VDI/VW-Gemeinschaftstagung 2014. ISBN 978-3-18-092223-2.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.**
Ing. Josef Mík, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: **15. července 2016**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **29. května 2018**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia
a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

.....
doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravních prostředků



.....
prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

.....
Bc. Petr Borecký
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 5. prosince 2017

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi pomáhali s provedením výzkumu i sepsáním práce. Zvláště děkuji vedoucím diplomové práce za cenné rady, připomínky a postřehy při tvorbě práce. Dále chci poděkovat Janu Válkovi za velkou pomoc v oblasti návrhu trati simulátoru. Mojí milou povinností je poděkovat svým rodičům i celé rodině, za silnou psychickou i materiální podporu při studiu ČESKÉHO VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 28. 5. 2018

Podpis:

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

Fakulta dopravní

REAKČNÍ ČAS ŘIDIČŮ

diplomová práce

květen 2018

Bc. Petr Borecký

Abstrakt

V této práci je řešena reakční doba řidiče a její délka vzhledem k bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích. V úvodní části je rozebrána reakční doba včetně aspektů, které jí ovlivňují. Dále následuje měření reakčních dob pomocí vozidlového simulátoru Fakulty dopravní ČVUT. V závěru jsou výsledky porovnány s ostatními výzkumy reakčních dob a je ověřena hypotéza.

Klíčová slova

Reakční doba řidiče, vozidlový simulátor, brzda, aktivní bezpečnost, asistent, asistenční systémy, Svalová reakce, proband, systém

Abstract

This thesis deals with reaction time of a driver and its length in relation to the road traffic safety. In the introductory part reaction time is analyzed, including the most important aspects that affect it. After that follows new measurement of the reaction times using the vehicle simulator of the Faculty of Transportation CTU. Data collected in this measurement are then processed and hypothesis is formulated. In the end the results are compared with other reaction time studies and the hypothesis is verified.

Key words

Driver Response Time, Vehicle Simulator, Brake, Active Safety, Assistant, Assist Systems, Muscle Response, Proband, System

Obsah

Obsah.....	5
Seznam použitých zkratek.....	7
Úvod.....	8
1 Požadavky kladené na řidiče při řízení vozidla.....	9
1.1 Všeobecné požadavky na řidiče.....	9
1.2 Požadavky na řidiče stanovené zákonem.....	10
1.3 Požadavky na profesionální řidiče.....	11
2 Reakční doba řidiče.....	14
2.1 Optická reakce.....	15
2.2 Psychická reakce.....	16
2.3 Svalová reakce.....	17
3 Faktory ovlivňující reakci na podnět.....	18
3.1 Návykové látky.....	18
3.2 Stres.....	20
3.3 Asistenční systémy řidiče.....	20
4 Asistenční systémy.....	21
4.1 Asistenční systémy vozidla.....	21
4.2 Asistenční systémy řidiče.....	23
4.3 Asistenční systémy ovlivňující výslednou reakční dobu.....	24
5 Legislativa týkající se asistentů aktivní bezpečnosti.....	32
6 Měření reakčních dob.....	34
6.1 Druhy měření.....	37
6.2 Poznatky z měření reakcí na vozidlových simulátorech.....	40
7 Výzkum.....	46
7.1 Hypotéza.....	46
7.2 Vymezení problému a formulace cíle jeho řešení.....	46
7.3 Rámcová metodika výzkumu.....	46
7.4 Popis vozidlového simulátoru využitého k výzkumu.....	47

7.5 Návrh tratě pro vozidlový simulátor.....	48
7.6 Stanovení podnětů pro reakci.....	48
7.7 Popis účastníků výzkumu	48
7.8 Postup při vyhodnocení naměřených dat.....	49
8 Výsledky experimentu.....	50
8.1 Statistické rozložení naměřených dat	50
8.2 Stanovení reakční doby řidiče	50
8.3 Vliv události na reakční dobu.....	52
8.4 Vliv svalové reakce na reakční dobu	54
8.5 Doba sešlápnutí brzdy.....	55
8.6 Průjezdy na signál stůj.....	59
9 Diskuze nad výsledky	61
10 Závěr	63
11 Zdroje:	64
Seznam obrázků.....	69
Seznam tabulek.....	69
Seznam grafů	70

Seznam použitých zkratk

Značka	Název
ABS	Protiblokovací systém kol automobilu
AEB	Automatické nouzové brzdění
ESP	Elektronický stabilizační program
ASR	Systém proti prokluzu kol
LDWA	Asistent pro zabránění nechtěného opuštění jízdního pruhu
BA/BAS	Brzdový asistent
ACC	Adaptivní tempomat
SSZ	Světelné signalizační zařízení
SZZ	Světelné zabezpečovací zařízení
CNS	Centrální nervový systém
BA	Brzdový asistent
PK	Pozemní komunikace
AETR	Evropská dohoda o práci osádek vozidel v mezinárodní silniční dopravě
THC	Tetrahydrocannabinol, omamná sloučenina obsažená v konopí
BSM	Systém detekce vozidla v slepém úhlu

Úvod

S nárůstem počtu motorových vozidel, dostupných pro množství řidičů, se vynořilo mnoho dílčích problémů v oblasti bezpečnosti provozu motorových vozidel na pozemních komunikacích. Hlavním jmenovatelem problémů je pozornost a doba reakce řidiče a také předvídatelnost jeho chování pro ostatní účastníky provozu. V současné době je dobře sledovatelný trend, určující náročnost ovládání vozidel, napříč skupinami. Trend snižuje tělesnou námahu k ovládání vozidla na minimum, za účelem uvolnění mozkové kapacity, která má umožnit lepší sledování okolní dopravy. V tomto duchu pracují mnohé bezpečnostní systémy současných vozidel. Např. ABS, ESP, Posilovač řízení, BA. Veškeré tyto systémy usnadňují řidiči řízení a tím umožňují převést uvolněnou pozornost na děje mimo vozidlo.

V poslední době se vyskytlo několik dopravních nehod, kdy řidič nebyl dost pozorný. Povinnost sledovat dění v okolí vozidla řidič přenechal na asistenčních systémech vozidla, které nehodě se smrtelnými zraněními nedokázaly předejít. Příkladem může být tragická nehoda automobilu Tesla Model S ze dne 30. 6. 2016, kdy se řidič spolehl na asistenční systémy [1]. Další smrtelná nehoda, tentokrát autonomního testovacího vozidla Volvo XC90 společnosti Uber s chodcem vedoucím bicykl, se stala ve městě Tempe ve státu Arizona dne 19. 3. 2018. Zde sice byla řidička, která měla v případě nutnosti převzít řízení, ale nestalo se tak. [2] Předpoklad nízké pozornosti a přenechání řidičských povinností asistenčním systémům je možný v nudných, otravných či bez podnětných úseků. Přenechání řidičských povinností systémům vozidla bude tím častější, čím budou systémy dokonalejší. Dokud nebudou na silnicích plně autonomní a předvídací vozidla, bude tento problém bezpečnosti stále aktuální.

Se vzrůstajícím počtem pohybujících se vozidel na silnicích vzrůstá pravděpodobnost ohrožení a omezení řidiče jiným řidičem. Proto jsou dnešní nároky na sledování dopravní situace vyšší než v minulosti, kdy se řidiči potkávali v menší míře a také v nižších rychlostech. Požadavky na řidiče, z hlediska ovládání současného vozidla, jsou nižší a díky tomu je umožněno řídit vozidlo lidem, kteří by ještě před dvaceti lety o řízení vozidla neuvažovali. Ovládání a řízení automobilu je tak snadnější a řady řidičů se mohou rozšířit. Je pouze otázkou, do jaké míry jsou asistenční systémy vozidla pro řidiče bezpečnostním přínosem. Každý řidič si po čase zvykne na pomoc, čímž sníží svojí pozornost. To by nebyl problém, pokud by se dalo spolehnout na tyto systémy, zatím to však nelze za každých podmínek.

Proto jsem si vybral téma diplomové práce Reakční čas řidičů, jejíž hlavním cílem je zjistit a posoudit jejich reakční doby vzhledem k zachování bezpečného provozu.

1 Požadavky kladené na řidiče při řízení vozidla

Požadavky na řízení vozidel podléhají času i typu dopravního prostředku. První historická zmínka o pravidlech jízdy je ve vyhlášce o jízdě silničními parostrojmi z roku 1875. O čtvrt století později přichází navazující místodržitelské nařízení stanovující požadavky na vozidla a jejich označení i jednoduchá pravidla bezpečného řízení a jízdy. Požadavky na řidiče se v průběhu let výrazně měnily, například jízda po pravé straně byla v Československu zavedena roku 1938 [3]. Jedním z posledních citelných změn v požadavcích na řidiče byl zákon č.374/2007 Sb., který zavádí profesionální řidičské oprávnění [4].

1.1 Všeobecné požadavky na řidiče

Veškeré takzvané všeobecné požadavky k řidičům vycházejí ze zákona 361/2000 Sb. Jsou to požadavky, které jsou obecné, jsou známy v širokém spektru řidičů a jejichž dodržování závisí zejména na morálních kvalitách a aktuálním psychickém rozpoložení řidiče. Psychické rozpoložení řidiče je stěžejní pro bezpečnost každého účastníka provozu.

Schopnosti řidiče, které podmiňují bezpečné řízení, jsou požadované pro udělení či prodloužení řidičského oprávnění. Schopnosti můžeme dělit do tří částí:

- Vjemové schopnosti (vizuální, zvukové, motorické, prostorové orientace, koncentrace pozornosti)
- Intelektové schopnosti (rozpoznání, hodnocení, schopnost analytického myšlení, praktické a kritické myšlení)
- Psychomotorické schopnosti (rychlost a přesnost reakce, přizpůsobivost, koordinace pohybů)

Zásadním požadavkem k řízení motorového vozidla je nepřítomnost jakékoliv úrovně mentální retardace, která je indikátorem horší schopnosti orientace a pohybu v prostředí. Mentální omezení podmiňuje zhoršenou nebo pomalou identifikaci rizik a schopnosti předvídat budoucí děje. [5]

Schopnosti řidiče musí zahrnovat adaptabilitu na měnící se podmínky v reálním čase a to včetně konfrontace se situací, která je pro něj nová a neznámá. Při zachování trendu aktuálního vývoje dopravního prostředí lze předpokládat zvýšení množství myšlenkových operací i rychlosti jejich vyhodnocení, které má řidič zpracovávat.

V současných automobilech je řidičova pozornost upoutávána mnohými funkcemi vozidla, které do budoucna budou pravděpodobně přibývat. Tento trend vyvíjí nátlak na pozornost

řidiče, která je svázána s inteligencí. Řidič musí být schopen posoudit dopad své nepozornosti vzhledem k bezpečnosti jízdy a korigovat své chování. Téma nepozornosti bude aktuální, dokud bude vozidlo řídit člověk [6].

Z výše uvedeného vyplývá snaha výrobců vozidel o ulehčení práce řízení. Tato snaha, především v oblasti asistenčních systémů, má za výsledek stagnaci intelektových schopností řidiče a tím zhoršení schopnosti bezpečně řídit vozidlo. Výrobci vozidel si tuto neblahou skutečnost uvědomují, a možná i proto vyvíjejí autonomní systémy řízení vozidel, které by neměli chybovat jako člověk.

1.2 Požadavky na řidiče stanovené zákonem

Základní požadavky na řidiče stanovuje Zákon o silničním provozu 361/2000 Sb., konkrétně v první části

HLAVA 1 v § 2, kde jsou vymezeny základní pojmy nutné pro paragrafy následující. HLAVA 2, upravuje provoz na pozemních komunikacích (dále jen PK). § 3- § 7

§ 3 pojednává o základních podmínkách pro účastníky provozu na pozemních komunikacích. Velice důležité jsou body 1 a 2, jež apelují na zralost psychickou i fyzickou každého řidiče. Především ve vztahu bezpečnosti k ostatním účastníkům i bezpečnosti vlastní.

§ 4 se zabývá povinnostmi účastníka provozu na PK. Zdaleka největší váhu má první bod, který ukládá „chovati se ohleduplně a ukázněně“ [4]. Takové chování má zabezpečit absenci ohrožení na životě, zdraví nebo majetku ostatních osob, nebo sebe samého. Dále zamezit poškození životního prostředí a ohrožení života zvířat.

§ 5 Je zaměřen na povinnosti řidiče v širším okruhu než v § 4. Například dbát zvýšené opatrnosti vůči nejzranitelnějším osobám, dětem, osobám s omezenou schopností pohybu a orientace nebo osobám těžce zdravotně postiženým. V dalším bodě je stanoveno, co řidič dělat nesmí.

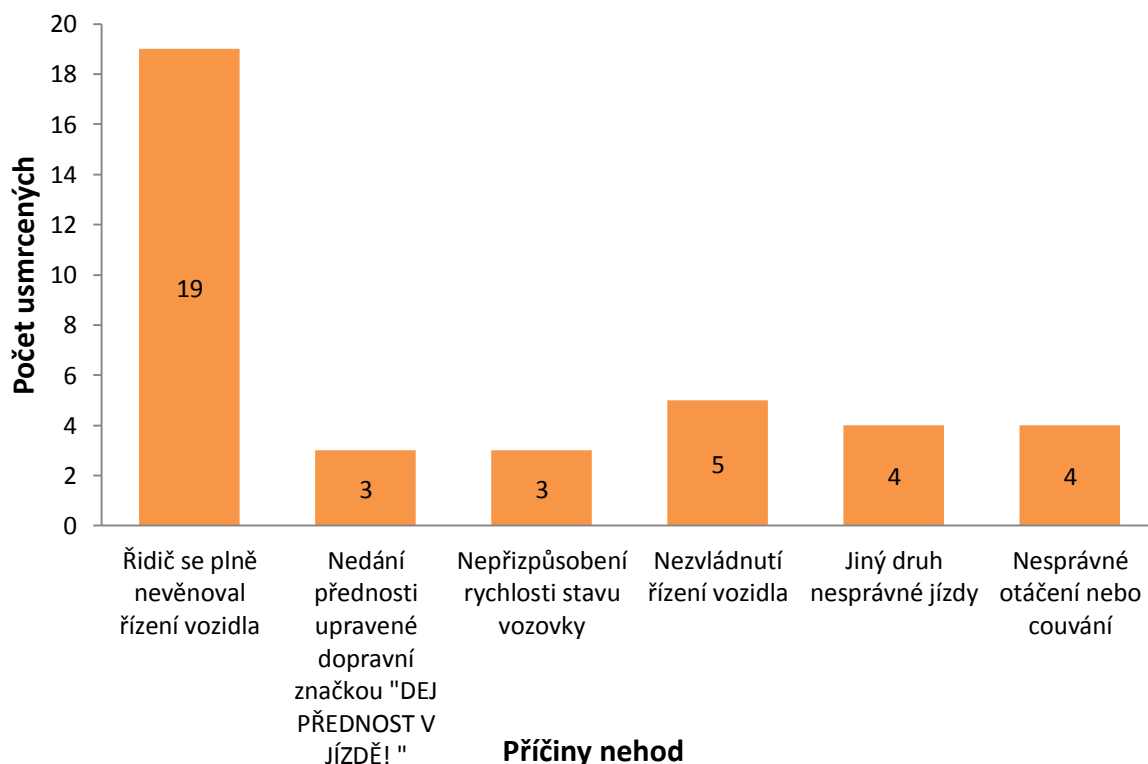
§ 6 Upravuje zejména povinnosti řidiče motorového vozidla vzhledem k přepravě osob a nákladu. Dále stanovuje postup při technických kontrolách vozidel.

§ 7 Obsahuje výčet věcí, které řidič dělat nesmí. O zakázaném chování řidiče ve vztahu k ostatním účastníkům provozu hovoří bod b, který dbá na ohleduplné chování řidičů [4].

1.3 Požadavky na profesionální řidiče

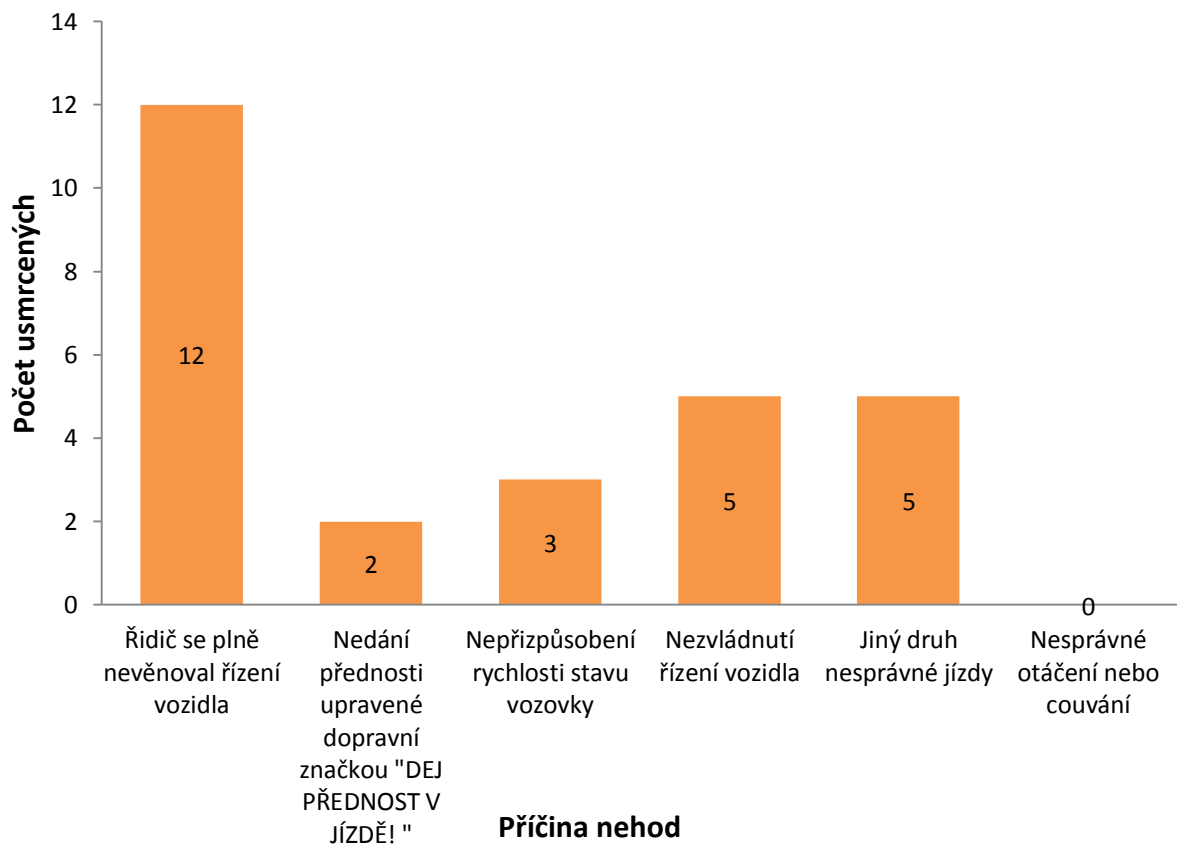
Na profesionální řidiče jsou kladeny výrazně vyšší požadavky, které pramení z delší doby řízení. Hlavním požadavkem je pozornost a soustředěnost, která se s prodlužující dobou řízení bez přestávky snižuje. Dalším faktem odlišujícím profesionální řidiče, zejména autobusů, je zodpovědnost za životy mnoha pasažérů. Nezanedbatelnou skutečností je nutnost správného úsudku a rozhodování v náročných dopravních situacích, které jsou často emocionálně-sociálního charakteru.

Řidiči, kteří se řízením živí musejí vlastnit profesionální řidičské oprávnění. Tato povinnost se nevztahuje na taxikáře a další řidiče vozidel do 3,5 tuny. Profesionální řidiči jsou prověřeni dopravně psychologickým vyšetřením a musí projít vstupním školením v rozsahu 140 hodin, které zahrnuje pravidla silničního provozu i techniku nákladního vozidla. Pravidelné lékařské prohlídky jsou profesionální řidiči povinni absolvovat každé dva roky. Po překročení padesátileté věkové hranice řidiče je lékařská prohlídka požadována každý rok. Pro zajištění platnosti profesionálního řidičského oprávnění, které je vydané na 5 let, je nutné každý rok absolvovat 7 hodinové školení v oblasti změn legislativy a podmínek AETR [4]. Tato opatření mají zajistit dostatečnou způsobilost profesionálních řidičů. Uvedené opatření však nejsou zárukou morálních hodnot, které by zajistily ohleduplnost a pozornost. Otázku pozornosti ilustruje přiložený graf č. 1.



Graf. č. 1 – Nejzávažnější příčiny nehod zaviněných řidiči nákladních vozidel v roce 2016 [7]

Aby graf č. 1 měl alespoň přibližnou vypovídající hodnotu, byl vztážen ke grafu č. 2. Z důvodu vyšší četnosti nehod řidičů osobních vozidel než řidičů vozidel nákladních byla vypočtena relativní úmrtnost pro každou kategorii a vynásobena počtem nehod profesionálních řidičů pro každou kategorii. Členění příčin nehod dopravní policie je politováníhodné, neboť z deseti kategorií jak pro řidiče profesionály tak i obyčejné řidiče je shodných pouze šest uvedených.



Graf. č. 2 – Nejzávažnější příčiny nehod zaviněných řidiči osobních automobilů v roce 2016 [7]

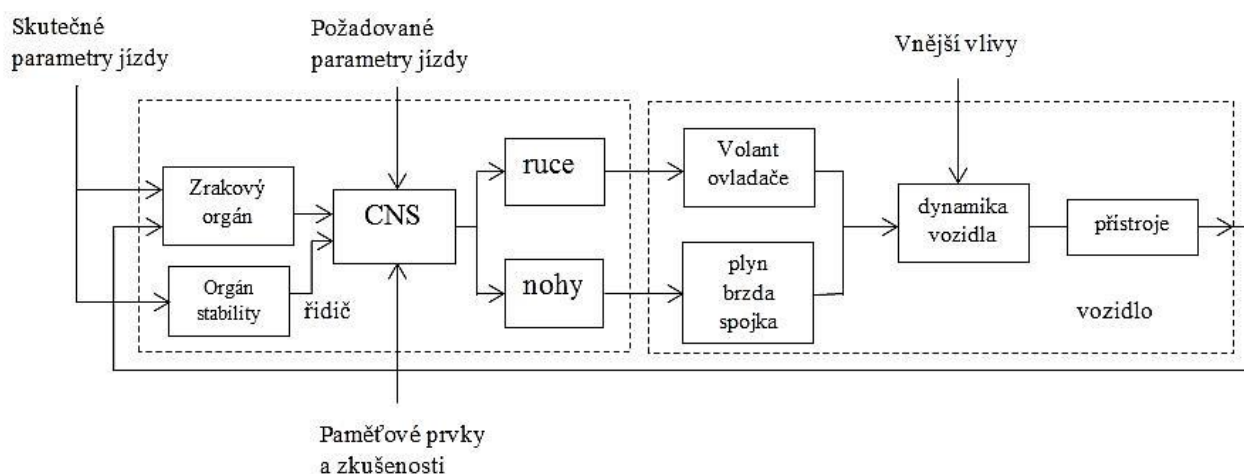
Z uvedených grafů vyplývá, že nízká pozornost při řízení vozidel je příčinou dopravních nehod s nejvyšším celospolečenským dopadem. V této kategorii prokázali řidiči profesionálové nejhorší výsledky.

Pro úplnost je třeba zmínit násobně vyšší hmotnost nákladního vozidla a z toho pramenící horší ovladatelnost. Další odlišností je výrazně delší doba, po kterou se řidič musí soustředit. Nařízení č. 561/2006 předepisuje profesionálním řidičům maximální dobu jízdy na 4,5 hodiny, po které má následovat odpočinek 15-45 minut. [8]

2 Reakční doba řidiče

Průběh dopravní nehody je vždy svázán s časovými úseky jednotlivých dějů nehody. Čas, který uplyne mezi jednotlivými ději, se podílí velkou měrou na výsledku nehody. K pochopení příčin nehodového děje a možnosti zabránění dopravní nehody je důležitá analýza okamžiků vedoucích k nehodě. Každá krizová situace, která může vygradovat k nehodě, začíná podnětem řidiče, následuje čas rozhodování řidiče a dále reakce řidiče. Je-li reakce provedena kvalitně, včas a zároveň byla zvolena správná reakce pro zamezení střetu, je nehoda odvrácena.

Reakční doba je obecně zavedený termín, stanovující dobu potřebnou k reakci člověka vyvolanou jakýmkoliv zaznamenaným podnětem. Na základě shodného uspořádání zrakového a sluchového systému i systému rovnováhy u všech lidí lze říci, že reakční doba řidiče je čas nutný k zareagování biologického systému na podnět nejčastěji ve zrakovém poli řidiče. Včetně podnětů náhlých a neočekávaných. [9]



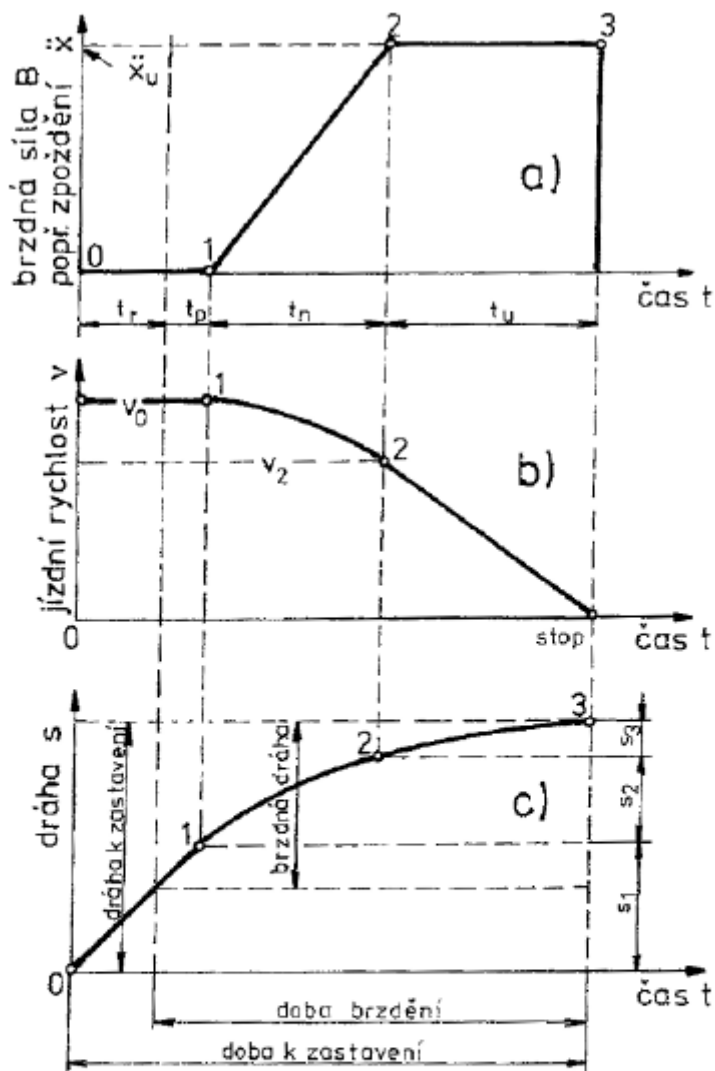
Obr. č. 1 – Blokové schéma interakce řidič-vozidlo [9]

V širším pohledu lze dobu reakce rozdělit na tři základní části.

1. Optická reakce (počátek vidění objektu)
2. Psychická reakce (rozpoznání objektu)
3. Svalová reakce (samotná fyzická reakce, např. pohyb končetiny)

Provázání jednotlivých složek reakcí včetně rychlosti odezvy vozidla se podílí výraznou měrou na době, která uplyne od zaregistrování podnětu po okamžik zanechávání brzdných čar na vozovce. Například brzdový asistent zkracuje čas náběhu brzdného účinku a tím se

podílí na zkrácení brzdné dráhy. Na přiloženém obrázku je znázorněn průběh reakce řidiče i odezvy vozidla při brzdění.



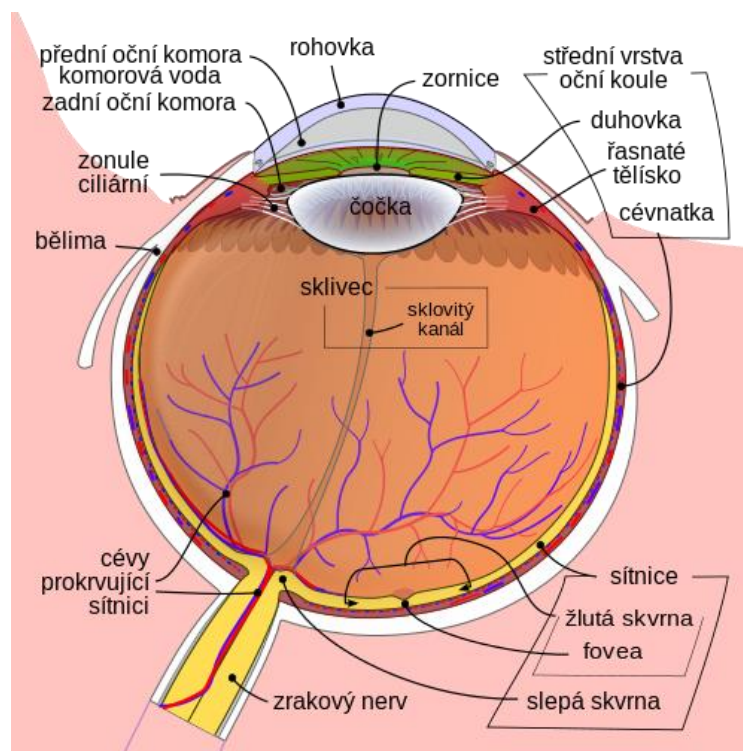
- Legenda: t_r – reakční doba řidiče
 t_p – doba prodlevy brzd
 t_n – doba náběhu brzdění
 t_u – doba plného zpomalení

Graf č. 3 – Reakce řidiče, vývoj brzdění vozidla [10]

2.1 Optická reakce

Je čas potřebný k zaznamenání objektu zrakovým orgánem. Důležitý fakt v oblasti optického vnímání zní: Vidět neznamená rozpoznat. Zrakové vnímání patří mezi nejdůležitější percepcie při řízení vůbec. Zrakem řidič získává okolo 90% všech informací.

Na základě tohoto faktu je nutné přiblížit klíčové vlastnosti transformace dopadajících světelných paprsků na sítnici oka. Sítnice oka je tvořena tyčinkami a čípky, které mají různě husté rozložení. Nejvíce fotoreceptorů je v oblasti žluté skvrny, konkrétně v ústřední jamce (*fovea centralis*). Proto je v této ploše sítnice nejostřejší vidění. Díky této vlastnosti je lidské oko téměř neustále v nepatrném pohybu. Za účelem poskytnout nejvěrnější obraz okolí člověka.



Obr. č. 2 – Řez okem [11]

Při periferním vidění se neuplatňuje ostré vnímání popsané výše. Pokud je zaregistrován nečekáný pohyb v periferní oblasti vidění, je oko natočeno tak, aby obraz objektu dopadal do ústřední jamky. Pole ostrého vidění je kuželovitého tvaru. Je-li třeba analyzovat nějaký optický podnět, vždy musí být lokalizovaný v oblasti ostrého vidění. [12]

2.2 Psychická reakce

Psychická reakce je čas potřebný pro vyhodnocení zpozorovaného děje, ohraničený prvním okamžikem fyzické reakce. Tato doba je značně variabilní v závislosti na složitosti situace, únavě řidiče či požití omamných látek. Čas, za který CNS vyhodnotí zpozorované data, závisí na množství informací a zkušeností již známých z dřívějších událostí uložených v paměti. Nezanedbatelným parametrem zkracujícím psychickou reakci je očekávání

budoucího děje. Naopak prodloužení reakce subjektu se pojí s více možnostmi řešení vzniklé situace, neboť je nutné posoudit tu nejlepší variantu řešení. [12]

2.3 Svalová reakce

Přímo navazuje na reakci psychickou. Nervový vzruch šířící se pohybovými nervy je zakončen v nervosvalových ploténkách, zde je převeden na stah. V tento okamžik začíná svalová reakce. Doba trvání pohybu je dána trénovaností veškerého svalstva a rychlostí stahů zapojených svalů, proto mají trénované osoby lepší předpoklady pro kratší dobu svalové reakce.

Dalším parametrem při svalové reakci je optimální trajektorie pohybu. Pokud je pohyb dostatečně natrénován a zažit, je proveden rychleji a bez nutnosti kontroly zrakem. Trénovaný člověk má vždy lepší výsledky v dané oblasti, proto i trénink, pro rozvoj reakční rychlosti vzhledem k ovládnutí vozidla, je přínosem [13].

K dnešnímu dni není stanovena přípustná reakční doba na jednoduchý podnět budoucího řidiče vozidla, kterou by musel splnit, pro udělení řidičského oprávnění. Reakční doba je posuzovaná subjektivně instruktorem autoškoly a v průběhu výuky se zkracuje. Pro řidiče, kteří chtějí mít natrénované úhybné manévry i kritické situace při řízení, a tím zvýšit svou bezpečnost. Jsou nabízeny kurzy bezpečné jízdy včetně praktické části jízdy na závodním okruhu. [5]

3 Faktory ovlivňující reakci na podnět

Při řízení vozidla je vždy řidič ovlivňován mnoha různými faktory, mnoho z nich má přímý dopad na pozornost a s tím spojenou reakci. Faktory ovlivňující reakci řidičů jsou shodné pro řidiče profesionální i běžné. Rozdíl mezi nimi je pouze v jejich intenzitě. Profesionální řidič kamionové dopravy většinou řídí maximální možnou dobu, proto na něj intenzivněji přichází únava, než na řidiče jedoucího například ve městě. Faktorů shodných pro obě skupiny je mnoho, např. klimatické či ergonomické nebo světelné.

Pro řidiče profesionální je důležitým faktorem pozornost, protože čelí kontinuálnímu zpracování velkého množství informací v krátkém časovém úseku, každý den po mnoho hodin. Pro řidiče autobusů je otázka pozornosti nejvíce palčivá, neboť mají zodpovědnost za životy mnoha cestujících. Zároveň jsou řidiči autobusů, zejména městské hromadné dopravy, nejvíce vystaveni stresovým situacím, pramenících z husté městské dopravy i množství cestujících [6].

Obecně lze faktory rozdělit na:

- Senzorické – týkající se smyslových orgánů
- Psychosomatické – týkající se psychických stavů a myšlenkových procesů
- Emoční – týkající se vyvolání emocí
- Klimatické – týkající se povětrnostních podmínek prostředí
- Ergonomické – týkající se dostupnosti ovládacích prvku vozidla

3.1 Návykové látky

Už od nepaměti lidé znali látky měnící psychické stavy a vědomí. V dobách před příchodem sériové produkce automobilů téměř neexistovalo nebezpečí veřejného ohrožení lidí, požitím omamných látek. Proto se v dopravě téměř nevyskytovaly nehody zapříčiněné omamnými látkami. V současnosti není zvláštností potkat opilého řidiče.

Ze statistiky dopravních nehod Policie České republiky za rok 2016 vyplývá, že 4373 dopravních nehod bylo způsobeno pod vlivem alkoholu, z čehož bylo usmrceno 52 osob. Od dob vzniku hnutí hippies jsou tvrdé drogy na vzestupu v celém světě. V ČR počátkem 90. let, vznikla rozmanitá nabídka drog, které mají také negativní dopad na schopnosti řídit vozidlo. Z policejní statistiky vyplývá, že vlivem užití drog bylo v roce 2016 způsobeno 251 dopravních nehod, při kterých bylo usmrceno 10 osob. Resumé z řízení pod vlivem návykových látek je 62 úmrtí a 4624 nehod. [7]

Alkohol

O alkoholu je mnoho mýtů ve smyslu nezkraslení reakcí při malých koncentracích v krvi, ovšem již při 0,3 promile alkoholu v krvi se zhoršuje zrak. Při koncentraci půl promile se zhoršují psychomotorické pohyby, projevují se nedostatky ve vnímání hloubky i pohybu a nastávají chyby v zautomatizovaných pohybech.[14]

Řidič posilněný alkoholem hůře drží přímý směr jízdy, má sklon sjíždět do pravého příkopu, nedokáže držet bezpečný odstup od vozidla jedoucího před ním. Řidič s alkoholem v krvi nedostatečně registruje objekty v periferním vidění, proto špatně registruje dopravní značení i ostatní účastníky silničního provozu. Při úrovni 0,5 - 1,5 promile je řidič nejrizikovějším pro své okolí neboť se cítí sebejistý, je soutěživý, rád riskuje, má nižší míru sebekontroly. Při vyšších koncentracích alkoholu v krvi zpravidla dochází k dalšímu útlumu reakcí, apatičnosti i poklesu myšlenkových schopností.

Každý člověk reaguje na požitý alkohol odlišně, doba odbourání alkoholu je značně proměnná a závisí především na dostatku tekutin v těle. Proto muži odbourávají lépe alkohol než ženy, neboť mají v těle více tekutin. [15]

Drogy

Řízení pod vlivem drogy je stejně nebezpečné (může být i více při užití silně halucinogenních drog) jako pod vlivem alkoholu. Psychotropní látky jsou dnes snadno dostupné. Dostupnost drog v kombinaci s jejich vysokou mírou účinku může snadno přivodit smrtelné následky. Doba ovlivnění drogou může přesahovat i týden po jejich užití v závislosti na dávce a druhu drogy.

Marihuana společně s hašišem obsahuje shodnou účinnou látku THC. Tato látka zapříčiňuje ospalost, zpomalenost, i nepozornost. Řidič, který vykouří jednu cigaretu marihuany má zhoršené schopnosti v řízení přibližně po dobu dvaceti čtyř hodin. Také je náchylný na oslnění díky rozšíření zornic. Výše uvedené účinky zdatelně prodlužují reakční dobu.

Metaamfetamin neboli pervitin i amfetamin jsou drogy působící ve dvou fázích. V první fázi navyšují aktivitu a potlačují únavu. Druhá fáze přináší silný útlum, kdy řidič snadno upadne do spánku, či reaguje velice zpomaleně. Pervitin zapříčiňuje u řidičů sklony k hazardování, snadnému oslnění, ztrátě smyslu pro realitu i přecenění svých schopností.

Halucinogeny (LSD, lysohlávky) způsobují poruchy vnímání, zejména halucinace. Řídit vozidlo po užití těchto drog je krajně nepřijatelné. Řidič je zbaven pozornosti i koordinace pohybů, chová se dezorientovaně.

Mnoho lidí užívá tlumivé léky, které mají také výrazný dopad na hladinu bdělosti i celkovou reakci řidiče. Byť jsou tyto léky legální, řidiči by neměli pod jejich vlivem řídit [14].

3.2 Stres

Stres lze obecně popsat jako fyzickou a duševní reakci na podněty, které nebyly očekávány a jsou pro subjekt překážkou. Spouštěče stresu se obecně nazývají stresory. Základní rozdělení stresorů řidiče lze členit na skupiny:

- Fyzického rázu (nevhodná ergonomie, hlučnost, oslnění, klima ve vozidle)
- Sociálně-pracovního rázu (u profesionálních řidičů dodržení požadavků zaměstnavatele, přesčasy, zodpovědnost za cestující)
- Psychického rázu (povahový typ, asertivita, adaptabilita, psychohygiena)

Výrazným stresorem pro každého řidiče je omezená, špatná plynulost jízdy okolních vozidel. Kdy jsou řidiči nuceni měnit rychlost nebo směr jízdy, čím větší je změna rychlosti jízdy tím častěji narůstá stres. [16]

Velice důležité je zvládat stresové situace i stres jako takový, každý řidič by měl být schopný reflektovat své chování i myšlení, být co nejvíce předvídatelný pro ostatní účastníky silničního provozu. Řidič, který není předvídatelný, nejspíše zapříčiní dopravní nehodu. Bezprostřední okolí takového řidiče nemůže zhodnotit situaci a připravit se na defenzivní jízdu.

3.3 Asistenční systémy řidiče

Stejně jako mnohé řidiče odvádějí od pozornosti silniční navigace, které umožní dostat se na určené místo bez ponětí o trase cesty, tak i asistenční systémy řidiči dovolují omezovat pozornost. Samozřejmostí je, že každý řidič jim nepodléhá [17]. Z vlastní zkušenosti lze posoudit, jak snadno si člověk zvykne na parkovací senzory či parkovací kameru. Při parkování s vozidly bez těchto pomůcek se pozbyté schopnosti silně projeví.

S určitou analogií lze počítat i u zbylých asistenčních systémů, které již mají větší dopad na bezpečnou jízdu. Pokud vezmeme v úvahu průměrné stáří osobních vozidel v ČR, které činí 14,5 roku, k datu 30. 9. 2015 [18]. Tak i v případě, že by se markantně zvýšil podíl registrací nových vozidel a zvýšila se rychlost obměny vozového parku, vychází předpoklad, že ani za deset let nebudou vozidla s pokročilými asistenčními systémy tvořit 100% zastoupení ve vozovém parku ČR. Dalším parametrem se ukáže jejich spolehlivost. Ve světle uvedeného je nejdůležitější, aby reakce řidičů byli vždy co nejkratší.

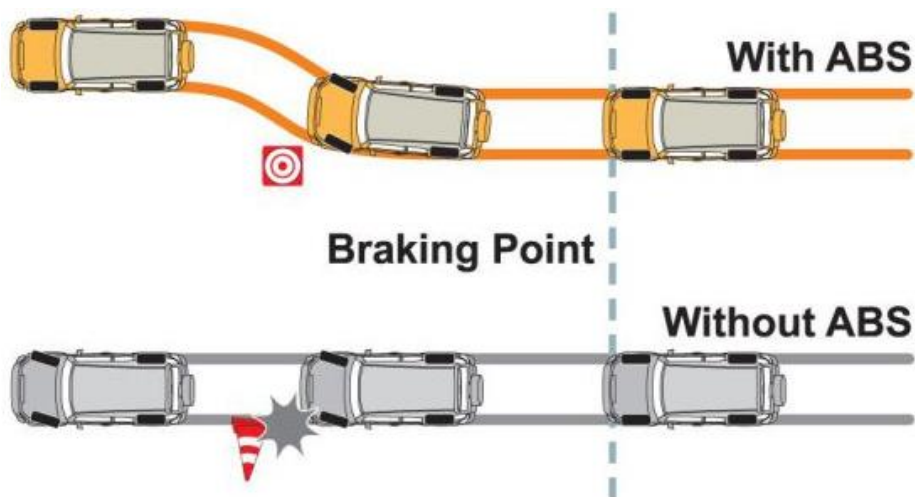
4 Asistenční systémy

S příchodem elektroniky do řízení vozidla, nejprve uplatněné při řízení motoru, se objevila možnost řídit vozidlo efektivněji. Prvním výrazným zlepšením bylo zavedení systému proti blokování kol (ABS), který se představila firma Bosch již v roce 1978 na vozidle Mercedes-Benz třídy S. Oblast asistenčních systémů vozidla se rychle začala rozšiřovat i mimo brzdění. Následovalo uplatnění při prokluzu kol hnací nápravy (ASR) či elektronická stabilizace jízdy vozidla (ESP). Jako nejrizikovější faktor podílející se na vzniku dopravní nehody se ukázal být člověk, nikoliv vozidlo nebo komunikace. S touto myšlenkou se začaly uplatňovat asistenční systémy řidiče, které mají za úkol řidiče varovat při vzniku potenciálně nebezpečné situace, nebo ulehčují řízení např. tempomat či Automatické brzdění (Front Assist) [19].

4.1 Asistenční systémy vozidla

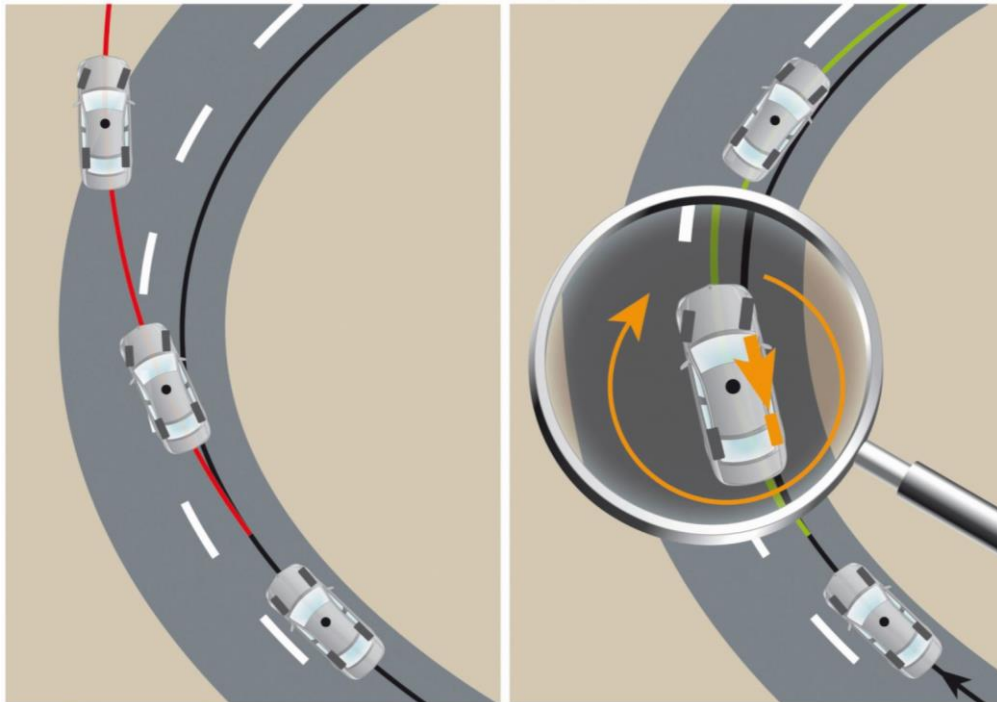
Do skupiny asistenčních systémů vozidla patří veškeré systémy ulehčující řízení vozidla. Pod pojmem řízení vozidla je myšlen bezpečný pohyb vozidla po trajektorii určené natočením volantu, za podmínky zohlednění vlivů okolí. Tyto systémy mají za úkol kompenzovat nezpůsobnost řidiče při řízení. Do širšího povědomí lidí vstoupily se sériovou produkcí osobních vozidel vybavených protiblokovacím systémem kol ABS. V dalších letech se zmíněný systém dále vyvíjel a přibývaly systémy přidružené k ABS, ASR, ESP [19].

Anti-lock Braking System (ABS) - Systém má zamezit zablokování kola při brzdění. Kolo při ztrátě adheze přenáší o mnoho menší síly a zároveň neumožňuje vedení automobilu. Při zachování odvalování je možné zajistit vyšší brzdné zpomalení i řízení vozidla. Funkce systému spočívá ve vyhodnocení otáčení jednotlivých kol, v případě zablokování vydá řídicí jednotka povel ke snížení tlaku v okruhu příslušného kola. V okamžiku odvalování kola hydraulický modul systému začne zvyšovat tlak do doby dalšího zablokování. Tento cyklus se opakuje v rozmezí 12-16 krát za vteřinu, tím je docíleno relativního odvalování kol. Obrázek č. 3 ukazuje úhybný manévr při brzdění vozidla s ABS (žluté) a bez něj (šedé). Šedé vozidlo i přes natočení předních kol pokračuje v přímé jízdě. Situace nastala, protože kola vozidla se zablokovala silným brzděním a smýkají se. Tím není zajištěno, aby vedly vozidlo.



Obr. č. 3 – Brzdění se změnou směru jízdy vozidla vybaveného ABS, bez něj (šedé) [20]

Zdokonalením a nadstavbou systému ABS bylo zavedení elektronické stabilizace vozidla (ESP). Tento systém porovnává rozdíl otáčení každého kola vůči kolům ostatním s polohou natočení volantu a daty z čidla stáčení vozidla kolem vertikální osy. Pokud data nejsou v souladu, je vyhodnocen smyk. V tuto chvíli je provedeno cílené přibrzdění příslušného kola, tak, aby vozidlo bylo srovnáno do požadované trajektorie pohybu. Systém zohledňuje smyk nedotáčivý, přetáčivý i jednotlivých náprav. Na základě těchto informací brzdí kolo, které má největší vliv na návrat k požadované trajektorii. Přiložený obrázek č. 4 demonstruje funkci systému ESP, v levé části obrázku je vozidlo bez ESP, které vlivem vyčerpané adheze mezi pneumatikou a vozovkou smykem opouští vozovku. V pravé části obrázku je vozidlo přibrzděno v počátku smyku pravým předním kolem. Přibrzdění vyvolá otáčivý moment kolem svislé osy vozidla, který pomůže udržet trajektorii vozidla. Velkým přínosem tohoto systému je snížení rychlosti vozidla v zatáčce, tím se sníží odstředivá síla, která vyčerpává přilnavost pneumatiky a ta může snáze vést vozidlo [19].



Obr. č. 4 – Srovnání vozidla vybaveného ESP a bez něj [21]-

4.2 Asistenční systémy řidiče

V současné době trend asistenčních systémů řidiče směřuje k absolutnímu předejití nehod. Systémy se zaměřují na kvalitní analýzu prostoru kolem vozidla, včetně dynamických dějů. Na základě těchto dat porovnávají možnost kolize s objektem, varují řidiče, pokud nereaguje řidič, zasáhne do řízení elektronika.

Systémy s možností korekce rychlosti a směru se sdružují kolem adaptivního tempomatu, se kterým spolupracují. Využívají data z radaru, scanneru, video kamery případně lidarů, aby získaly informace o dění kolem vozidla a mohli tak hodnotit budoucí vývoj situace a reagovat na ni.

Systémy spolupracují s elektromechanickým posilovačem řízení, brzdovou soustavou dále používají předpínače bezpečnostních pásů, vibrační prvky, akustickou signalizaci a mnoho dalších prvků vozidla [19].

Z hlediska navazujícího výzkumu této práce se dále zaměříme na asistenční systémy, které pomáhají řidiči zkrátit výslednou reakci při ovládní vozidla. Tyto asistenti mohou pomoci při méně soustředěné jízdě a zachránit to, co řidič zanedbal.

4.3 Asistenční systémy ovlivňující výslednou reakční dobu

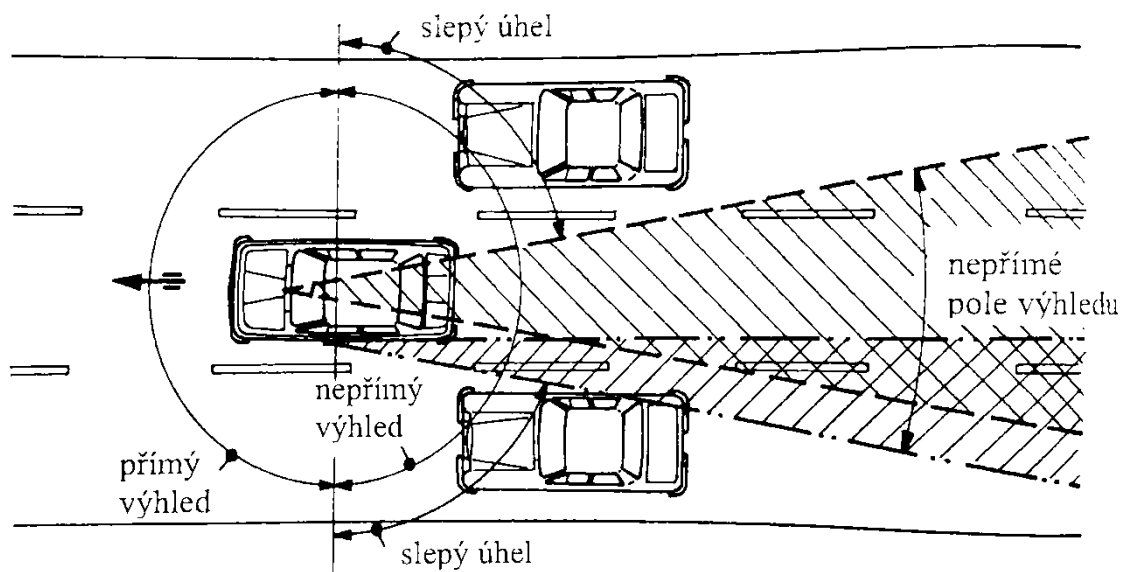
Mnozí z asistentů slouží ke zvýšení komfortu řidiče při rutinních úkolech s vozidlem, například parkovací asistent, signalizace ztráty tlaku vzduchu v pneumatikách nebo signalizace opotřebení brzdových destiček. Další skupina má z pohledu bezpečnosti vyšší důležitost, neboť se snaží eliminovat řidičskou nezpůsobilost. Patří mezi ně např. hlídání mrtvého úhlu zorného pole řidiče a mnohé další.

Systém BSM, BILS (Blind Spot Monitoring)

Při jízdě po komunikaci se dvěma a více jízdními pruhy v jednom směru běžně nastává situace, kdy vozidlo ve vedlejším jízdním pruhu přestane být vidět z pohledu řidiče jedoucího stejným směrem v pruhu přilehlém. V této situaci řidič, byť zkontroluje situaci kolem vozu pohledem do zpětných zrcátek, neuvidí míjející vozidlo. Ve chvíli, kdy se řidič rozhodne přejet do jiného jízdního pruhu, snadno nastane kolize.

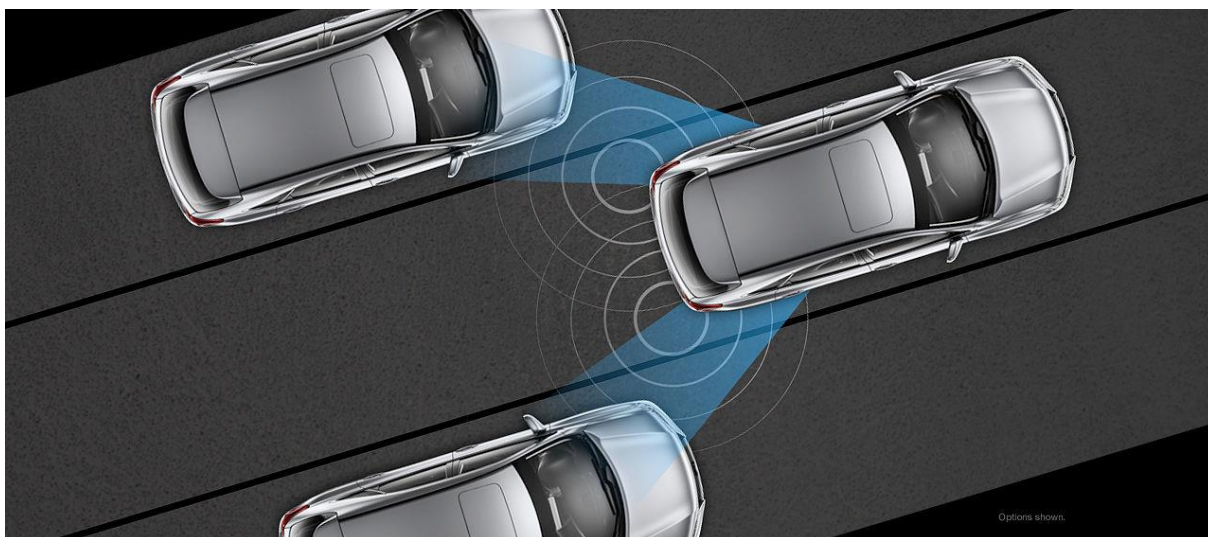
Asistent detekce slepého výhledu upozorňuje řidiče na objekt v blízkém okolí vozidla, který z pozice řidiče není vidět, neboť to neumožňuje konstrukce vozidla. Výhled řidiče nejvíce limitují sloupky (A, B, C). Při pohledu řidiče do vnějšího zpětného zrcátka je výhled řidiče omezen geometrií paprsku dopadajícího do řidičova oka. Tento jev výrobci vozidel značně eliminovali použitím vypouklé (zakřivené) krajní části vnějšího zpětného zrcátka řidiče. Sférické zrcadlo problém řeší jen částečně, neboť mnozí řidiči mají zrcátka natočená na bok vozidla, a tím zvětšují tzv. „mrtvý úhel“. Oblast „mrtvého úhlu“ nelze zahlédnout pohledem do zpětného zrcátka, kdy předjíždějící vozidlo v určitém okamžiku zmizí, a následně se před vozem objeví na úrovni sledujícího řidiče [19].

Na přiloženém obrázku č. 5 je znázorněn úhel výhledu zpětnými zrcátky.



Obr. č. 5 – Schéma nepřímého výhledu řidiče [19]

Asistent hlídání slepého úhlu pracuje s radarovými senzory umístěnými v rohu zadního nárazníku, nebo s kamerovými senzory umístěnými pod zpětnými bočními zrcátky [19].



Obr. č. 6 – Asistent hlídání mrtvého úhlu automobilky Lexus [22]

Systemy monitorování řidiče

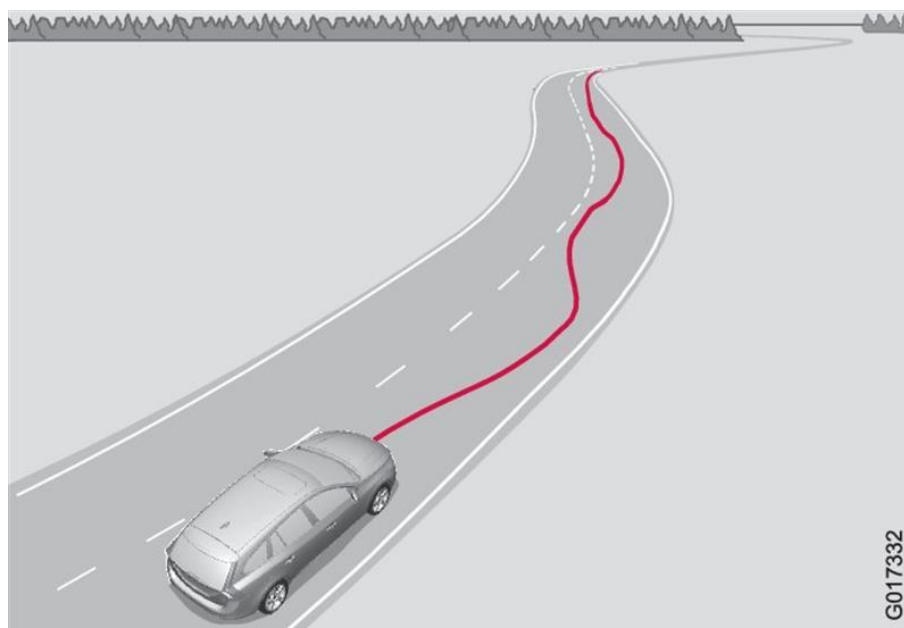
S rozvojem rozpoznání obrazových dat a zjištění ovládní vozidla ospalým řidičem jsou vyvíjeny systémy monitorování bdělosti řidiče. Nízká soustředěnost, ospalost a mikrosnánek jsou důsledky únavy řidiče. Základní myšlenka, že řidič je dostatečně soudný, aby zastavil na

krátké protažení, je ve skutečnosti chybná. Mnozí řidiči pokračují v cestě i při vědomí silné únavy. A právě pro řidiče, kteří nepoznají pokles své pozornosti a zároveň myslí na bezpečnost, je užitečný tento systém monitorování bdělosti.

Systémy sledování řidičů se zakládají na sběru a následném vyhodnocení dat z ovládacích prvků vozidla (natáčení volantu, rychlosti sešlápnutí pedálu), monitorovacích prvků (kamera sledující obličej řidiče, infrakamera zaměřená na tělo a hlavu řidiče a videokamera sledující vodorovné dopravní značení). Zároveň využívají data z ostatních asistenčních systémů, např. ze systému udržování v jízdnicích (LDWA) [19].

Driver alert control (Volvo)

Asistenční systém se spouští při překročení rychlosti 65 km/h, aktivní zůstává do rychlosti 60 km/h. Systém zpracovává data z videokamerou snímaného vodorovného značení v kraji vozovky a data natočení volantu. Pokud řidič neustále koriguje směr jízdy je porušené plynulé sledování vodící čáry a řidič je vyhodnocen jako ospalý. V tuto chvíli je řidič varován akustickým signálem a kontrolkou na přístrojové desce [23].



Obr. č. 7 – Odlišná trajektorie jízdy vozidla vůči silnici – ospalý řidič [23]

Hlídní bdělosti řidiče (Volkswagen)

Systém vyhodnocuje prudké změny směru jízdy pomocí snímače zrychlení podélného stáčení vozidla, natočení volantu, příčného zrychlení, plynulosti ovládání plynu, kamery sledující vodorovné dopravní značení. V případě, kdy je jízda plná prudkých a ostrých změn

pohybu i neplynulého odstupu od vodorovného značení, je řidič akusticky a symbolem s šálkem kávy upozorněn na vhodnost přestávky. Systém v prvních patnácti minutách sbírá data o charakteru jízdy řidiče pro budoucí porovnání. Vynulování nasbíraných dat se provede při novém startu či zastavení a otevření dveří řidiče. Systém spolupracuje s ACC i Precrash prvky a tak v případě, že řidič přestane reagovat, je upozorněn dopnutím bezpečnostního pásu. V případě, kdy takto ani na potřetí nepřevzme řízení, vozidlo zastaví u pravého kraje se zapnutými varovnými světly [24].

Drowsiness – Control Technology

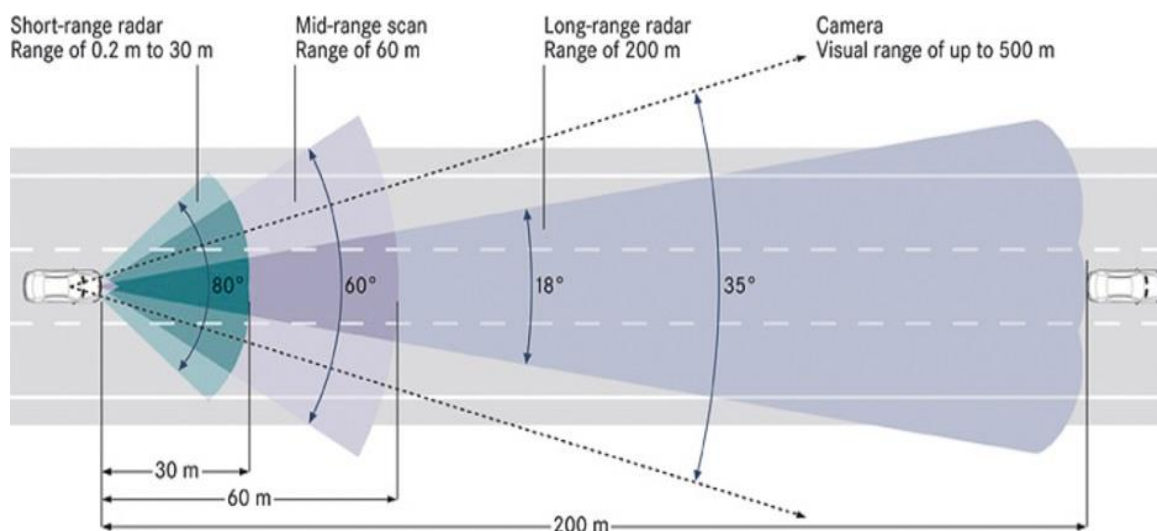
Tento systém společnosti Panasonic monitoruje stav bdělosti řidiče, má za úkol řidiči poskytnout maximální klimatický komfort vzhledem k jeho únavě, včetně její predikce a tím dříve předejít ospalosti. Systém sbírá data z kamery snímající obličej řidiče, infrakamery, která měří tepelné ztráty řidiče a intenzity osvětlení. Systém rozpozná příchod ospalosti pomocí změny mrkání, výrazu tváře a tepelného vyzařování osoby. Na základě historických a aktuálních dat je systém schopen predikovat vývoj ospalosti. V případě predikované snížené bdělosti je upraveno klima, směr ventilace i osvětlení, které mají odstranit ospalost. V případě vysokého stupně ospalosti je řidič upozorněn vibracemi sedadla i akusticky o nutnosti pauzy [25].

Systém ACC (full speed range)

Jedná se o automatickou regulaci odstupu od vozidla vpředu. Systém má za úkol dodržovat nastavenou vzdálenost od vozidla jedoucího vpřed, a to i v případě náhlého brzdění vedoucího vozidla. Pokud řídicí jednotka vyhodnotí zpomalení vedoucího vozidla, sníží množství vstřikovaného paliva do motoru a tím vozidlo deceleruje. Pokud sledované vozidlo začne prudce zpomalovat, tak že by v budoucím okamžiku došlo ke kolizi, uvede systém v činnost brzdovou soustavu s maximální rychlostí náběhu tlaku v brzdovém okruhu a nejvyšším brzdícím tlakem. Touto kombinací je dosaženo maximálního brzdícího účinku, který v případě nutnosti trvá až do úplného zastavení vozidla. Činnost automatické regulace odstupu je plynulá, citlivá a komfortní, spolupracuje s tempomatem, a proto v okamžiku akcelerace vedoucího vozidla zrychluje do požadované rychlosti při zachování nastavené vzdálenosti.

Systém má hned několik typů čidel, které zajišťují co nejlepší výsledky v daných skupinách vzdáleností objektů. Vzdálenosti a jednotlivé druhy čidel lépe ilustruje obrázek č. 10.

Největší záběr až 80° poskytuje radarový snímač monitorující okolí vozidla do vzdálenosti 30 m, který pracuje s milimetrovými elektromagnetickými vlnami o frekvenci 79GHz. Na tento radar navazuje radar se středním dosahem o záběru 60° při dosahu 60 metrů. Radar středního dosahu pracuje na frekvenci 76 – 77 GHz. Následuje radar dlouhého dosahu pracující na stejné frekvenci 76- 77 GHz s dosahem 200 m. Radar je tvořen šesti radarovými anténami, centrální čtyři antény vysílají paprsky v rozsahu 18°. A mají za úkol detekovat vozidlo v dlouhé vzdálenosti, při minimálním rušení objekty v přilehlých pruzích. Pro blízkou vzdálenost slouží dvě antény. Ty rozšiřují obzor sledování o 58° při dosahu až 5 metrů, tyto antény se starají o detekci vozidel zařazujících se do pruhu nebo pruh opouštějících. Snímač s nejdelším dosahem, kamera video detekce, uzavírá skupinu snímačů monitorujících oblast před vozidlem. Video detekce pracuje s obrazovými daty, které vyhodnocuje na základě rozdílu jasu jednotlivých pixelů, tímto způsobem rozeznává vodorovné dopravní značení i ostatní objekty [26].



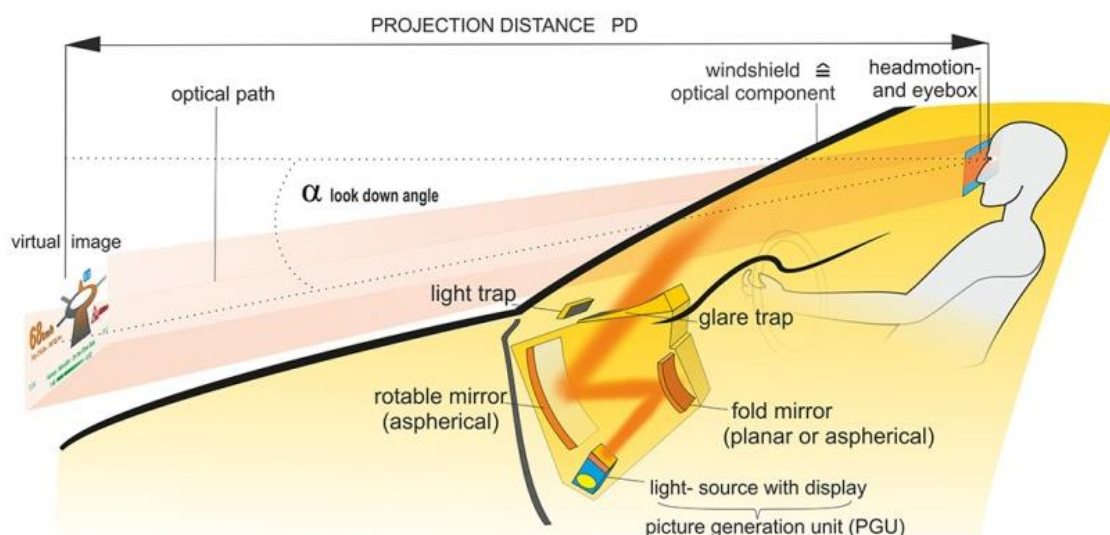
Obr. č. 8 – Schéma dosahu jednotlivých čidel systému ACC dual radar Mercedes-Benz S-class 2008 [27]

Systémy zobrazení virtuálního obsahu Head-up Display (HUD)

Každé odvrácení zraku a pozornosti od vozovky, situace před vozidlem, vede k nepozornosti. Špatná soustředěnost či nepozornost zvyšuje pravděpodobnost nehody. To platí i při pohledu na přístrojovou desku, navigaci, ovládání Infotainmentu nebo ovládání komfortní výbavy vozidla. Časté kontrolování přístrojové desky, nehledě na sledované přístroje, je taktéž omezování pozornosti, bohužel jsou tyto pohledy nutné pro dodržování předpisů silničního provozu. Řešením odvrácení pohledu na rychloměr a další přístroje se stala projekce obrazu rychlosti i dalších údajů o jízdě vozidla do pole výhledu řidiče. Systém

projekce informací či obrazu na průhledové sklo byl původně vyvinut pro zaměřovací systémy stíhacích letadel již koncem II. Světové války.[28]

Systém se skládá ze zdroje světla, displeje, pevného a otočného asférického zrcadla, čelního skla s odrazovou folií nebo polykarbonátové destičky. Silné světlo nasvěcuje displej, odraz displeje se přenáší přes soustavu optických členů a promítá na čelní sklo. Aby řidič nebyl nucen přeastřovat při pohledu na zobrazované informace je promítající se obraz upraven tak, aby se jevil ostrý ve vzdálenosti předě vozidla. V této vzdálenosti je čočka lidského oka již zaostřena na dálku. Odrazová folie čelního skla výrazně zvyšuje finanční nákladnost, proto se mimo luxusní vozy toto zobrazení nepoužívá. Běžně je k zobrazení využívána polykarbonátová destička, která se vysune z palubové desky do pohledu řidiče [19].



Obr. č. 9 – Zobrazení přenosu virtuálního obrazu na čelní sklo [28]

Systémy nočního vidění

Potkávací světla automobilu osvětlují vozovku přibližně do vzdálenosti 60 metrů. Dálková světla by měla vozovku osvětlovat minimálně do 100 metrů. V případě jízdy na potkávací světla za šera nebo tmy je bezpečná rychlost pro zastavení nejvýše 80 km /h. Mnoho z řidičů jede na potkávací světla o mnoho rychleji, nedokázali by zastavit na dohledovou vzdálenost např. při jízdě po dálnici. Za účelem informovat řidiče o překážkách či nebezpečí za osvětlenou oblastí byly vyvinuty systémy nočního vidění. Ty řidiči zprostředkovávají objekty až do vzdálenosti 300 metrů před vozidlem. První sériově vyráběné vozidlo se systémem nočního vidění byl Cadillac DeVille v roce 2000. Systémy lze rozdělit na aktivní a pasivní.

Aktivní systémy používají Infračervené zářiče, které nasvěcují scénu před vozidlem. Dosah detekce objektů je přibližně 150 metrů odražené světlo zaznamenávají infrakamery. Zaznamenaný objekt je společně s nasvícenou scénou zobrazen na přístrojovém, nebo multimediálním displeji. Výhoda aktivních systémů nočního vidění spočívá v živém a věrném zobrazení objektů i scény. Nevýhodou je ovlivnění mlhou, silným deštěm i kratší dosah detekce [29].

Pasivní systémy nepoužívají světelný zdroj, využívají termokameru. Tato kamera měří tepelné ztráty objektů s přesností na desetiny stupně Celsia. Na základě teploty a tvaru objektu je rozlišeno, zda se jedná o chodce nebo zvíře. Zachycený objekt je zobrazen řidiči na displeji. Obraz je v porovnání s aktivními systémy méně věrný. Dosah detekce osciluje kolem 300 m v závislosti na výrobcu. Hlavní výhodou je neovlivnění povětrnostními podmínkami [30].

Ideálně je obraz promítán přímo do výhledu řidiče pomocí HUD. Systémy nočního vidění s funkcí rozpoznání chodců jsou propojeny s brzdovým asistentem (BA), automatickým nouzovým brzděním (AEB). Díky tomu je dosaženo, buď rychlejšího náběhu brzdného účinku, nebo výrazného snížení rychlosti zásahem automatického brzdění. Noční vidění zvyšuje bezpečnost za tmy, šera, mlhy nebo oslnění z protisměru [19].

Brzdový asistenční systém (BAS,BA)

Mnozí řidiči nejsou připraveni na nouzové brzdění a v kritické situaci působí na brzdový pedál malou silou nebo nízkou rychlostí stlačení. Důvody k tomuto chování mohou být různé, od nedostatečného trénování, až po špatnou motoriku končetin. Zkušený řidič s natrénovanými reakcemi při kritické situaci, sešlápně brzdový pedál prudce a velkou silou. Systém je proto přínosem nezkušeným řidičům či řidičům s nižším cítem pro řízení. Aby byl zajištěn maximální brzdový účinek, nehledě na zkušenosti řidiče, byl vyvinut brzdový asistent. Brzdový asistent může být několika typů, mechanický, elektronický, hydraulický. Každý typ má stejnou funkci, rozdíl je především v činnosti a způsobu řízení zařízení.

Brzdový asistent vyhodnocuje kritickou situaci z rychlosti uvolnění pedálu plynu i rychlosti sešlápnutí brzdového pedálu. Na plynovém pedálu je potenciometr udávající přesný odpor, z něhož je primárně řízeno množství paliva dodávaného motoru. Na základě prudké změny hodnot je předpokládána kritická situace, která je buď potvrzena rychlou změnou hodnot z potenciometru brzdy, nebo je vyvrácena pomalým nebo žádným sešlápnutím brzdy. V případě potvrzení kritické situace je otevřen elektromagnetický ventil, kterým přichází stlačený vzduch do pracovní komory a spolupůsobí se silou nohy řidiče na hlavní brzdový válec. V následující okamžiku jsou kola vozidla brzděny maximální silou do jejich

zablokování, kdy přebírá funkci ABS. Posílení brzdné síly trvá až do uvolnění pedálu. Brzdový asistent je možný pouze v součinnosti se systémem ABS, neboť prudce navýší tlak v brzdovém okruhu až na úroveň zablokování kol [19].

Automatické nouzové brzdění (AEB, RSD, ANB)

Automatické nouzové brzdění je nadstavbou brzdového asistentu. Celý systém je sofistikovanější, využívá informací od ACC o vzdálenosti objektů před vozidlem. Dále spolupracuje s video detekcí pro identifikaci nejzranitelnějších účastníků dopravy, případně se systémem nočního vidění. Systém je kontinuálně informován o vzdálenosti a charakteru překážky před vozidlem. Ta může být buď pohyblivá (vozidlo, účastník provozu, zvěř), nebo pevná překážka (spadlý strom, stojící vozidlo). V případě zkrácení vzdálenosti na méně než bezpečný odstup pro danou rychlost, je řidič varován. Zároveň brzdový systém zvýší tlak, aby v prvním okamžiku sešlápnutí brzdového pedálu vozidlo brzdilo s maximálním brzdým účinkem, pokud řidič dále nereaguje na varování, asistent brzdí. Tato funkce má za úkol co možná nejvíce zmírnit následky střetu vlivem snížení nárazové rychlosti, nebo zabrzdit před objektem [19].

Front Assist

Asistent nouzového brzdění značky Volkswagen pracuje v rámci popsaného postupu. Nejdříve řidiče informuje pouze skrz displej palubního počítače, v tento okamžik je dostatek času na řidičovu reakci. Druhé upozornění je opticko akustické, asistent zvýší tlak v brzdové soustavě, je připraven poskytnout maximální brzdý účinek. Pokud řidič nereaguje, vozidlo je krátce a razantně přibrzděno. Jede-li vozidlo rychleji než 35 km/h asistent částečně brzdí s brzdým zpomalením přibližně 3,5 m/s². Pokud i nadále hrozí kolize, je maximálně navýšen tlak v brzdovém okruhu tak, aby brzdné zpomalení dosáhlo 6 m/s² na suchém podkladu [31].

5 Legislativa týkající se asistentů aktivní bezpečnosti

Společně platné povinné předpisy pro homologaci vozidel určuje Evropská hospodářská komise. Komise je prvkem Organizace spojených národů, významnou činností komise je oblast předpisů pro dopravu. Předpis je vždy zaměřen na konkrétní systém vozidla, který je v rámci schvalování důsledně odzkoušen, aby byla prověřena a garantována jeho funkce. V případě, že systém v testu obstojí, je možné jej homologovat. Homologace znamená úřední schválení systému k použití [32].

Dalšími předpisy jsou ISO normy, které jsou doporučující, nikoli povinné. Vznikají prakticky současně s vyvíjenými systémy a tak jsou nejvhodnější přímo pro výrobce, který se jimi může řídit. Významnou skupinou stanovující podmínky v oblasti pasivní i aktivní bezpečnosti je konsorcium Euro NCAP. Testy jimi stanovené nejsou povinné, ale mají velký ohlas u koncových zákazníků. Proto se výrobci automobilů snaží poskytnout co nejvyšší ochranu cestujícím i nejzranitelnějším účastníkům dopravního provozu. V testech jsou zohledněné nejvíce časté a rizikové druhy nárazů i tvarů kolidujících těles.

Zvyšování bezpečnosti je dlouhodobý požadavek pro veškerou silniční dopravu. Vzhledem k členění bezpečnosti vozidla na pasivní a aktivní bylo období do roku 2010 využito pro zvyšování pasivní bezpečnosti na základě nařízení Evropské komise. V roce 2004 byl v Evropské unii povinně zaveden systém ABS, od roku 2006 je používání bezpečnostních pásů povinné ve všech vozidlech, které jsou jimi vybavené (autobusy, užitková vozidla). Program Evropské komise na období 2011 – 2020 je zaměřen na snížení úmrtí plynoucího z dopravních nehod na polovinu oproti předchozímu desetiletí. Tohoto výsledku má být dosaženo zejména zvýšením aktivní bezpečnosti vozidel. Systém ESP je povinný pro osobní a lehké užitkové automobily od 1. 1. 2012 a od roku 2014 pro všechny nově vyráběná vozidla. Od začátku dubna 2018 vstupuje v platnost nařízení povinného systému eCall pro nově homologovaná vozidla.

Jeden z nejdůležitějších předpisů aktivní bezpečnosti vozidel, stanovený Evropskou hospodářskou komisí, je předpis 131. Ten se zabývá podmínkami pro homologování systémů záchranného brzdění AEB. Předpis je platný od července 2013 a platí pro nákladní automobily a autobusy s vyšší hmotností než 3,5 tuny [33].

Požadavky stanovené předpisem EHK 131

- V případě deaktivace systému musí být aktivní signál o nečinnosti systému.
- Nejnižší rychlost pro funkci systému je 15 km/h.
- Záchrané brzdění musí nastat po výstražném signálu, následujícím po rozpoznání překážky.
- Systém musí zahrnovat prostředek, kterým řidič smí přerušit nouzové brzdění.
- Signál výstrahy musí být postřehnout alespoň dvěma smysly.
- Výstraha řidiči musí být podána s takovým předstihem, aby mohl zavčas reagovat na nebezpečí nárazu.
- Výstraha musí být nastavená tak, aby nezpůsobovala předčasné nebo příliš časté varování a nestala se obtěžující.

Normy ISO

Normy ISO vytváří Mezinárodní organizace pro normalizaci, která byla založena v roce 1947 se sídlem v Ženevě. Organizace se řídí demokratickými postupy, kdy se každý její člen podílí na rozvoji norem nehledě na jeho významu nebo kreditu. [43]. Normy nejsou závazné, spočívají v doporučení stanovených parametrů konkrétnímu výrobku (systému), aby mohl být prověřen testováním. Význam těchto norem spočívá v standardizaci výrobků, která umožňuje propojení průmyslu mezi národy a zjednodušuje vzájemné obchodování. Normy zabývající se systémy aktivní a integrované bezpečnosti jsou nejčastěji tyto [33]:

ISO 15622 : 2002 - Popis a testy adaptivních tempomatů

ISO 15623 : 2008 - Varovné systémy předsunutých překážek

ISO 15624 : 2008 - Varovné systémy před dopravní překážkou

ISO 17361 : 2007 - Testy zařízení sledujících jízdu v pruzích

ISO 17386 : 2011 - Pomoc při manévrování při nízkých rychlostech

ISO 17387 : 2008 - Sledování okolí vozu (varování proti předjíždění)

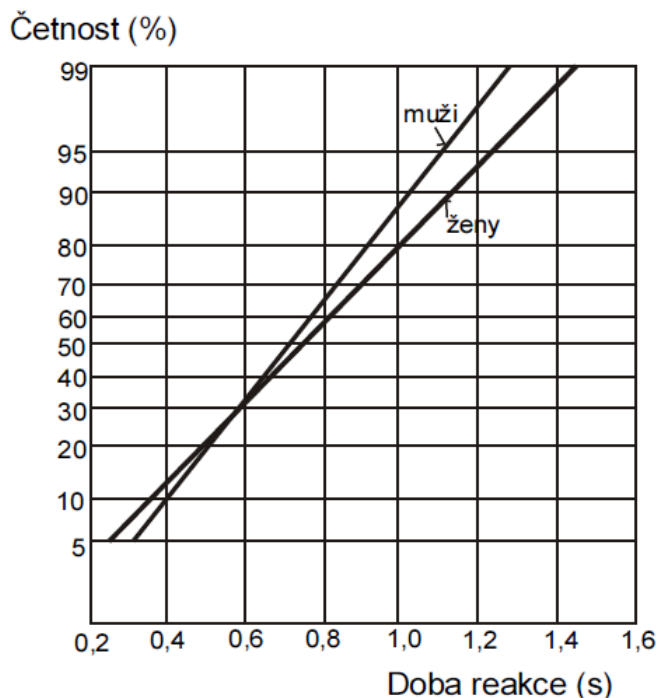
ISO 22178 : 2009 - Systém automatické jízdy v koloně nízkou rychlostí

ISO 22179 : 2009 - Popis a testy adaptivních tempomatů, fungujících do maximální rychlosti

6 Měření reakčních dob

Ke stanovení reakčních dob je možno použít více druhů měření i metod. Historicky první byly využity jízdní zkoušky prováděné na závodní dráze. V roce 1931 byl v Německu proveden jeden z prvních experimentů zjišťování reakční doby řidiče. Testování se účastnilo šedesát dobrovolníků, především závodních jezdců. Samotné měření probíhalo na závodním okruhu Nürburgring, měřena byla doba od hlasového povelu zastavit, po rozpoznatelný počátek brzdění. Naměřené hodnoty reakcí řidičů byly v intervalu 0,3 – 2,5 s a střední hodnota činila 0,96 s. Střední hodnota reakční doby byla zaokrouhlena na 1,0 s, tato hodnota byla používána přibližně do roku 1975 jako obvyklá reakce průměrného řidiče [34].

Společnosti Daimler – Benz provedli v roce 1977 taktéž pokusy se zjišťováním doby reakce řidičů na podnět. Experiment byl prováděn jízdními zkouškami, konkrétně byla řidičům vsunuta z boku do dráhy figurína dospělé osoby, která byla do té doby řidiči skryta. Účastníkům bylo sděleno, že budou testováni na účinky bočního větru. Ve cvičném zahajovacím kole byl řidič konfrontován s překážkou. Experimentu se účastnili dobrovolníci v zastoupení 9 žen a 18 mužů různé věkové kategorie i povolání. Výsledky práce nejlépe vystihuje přiložený diagram četností různých délek reakčních dob. Reakce řidičů spadali do intervalu 0,25 – 1,43 s. [35].



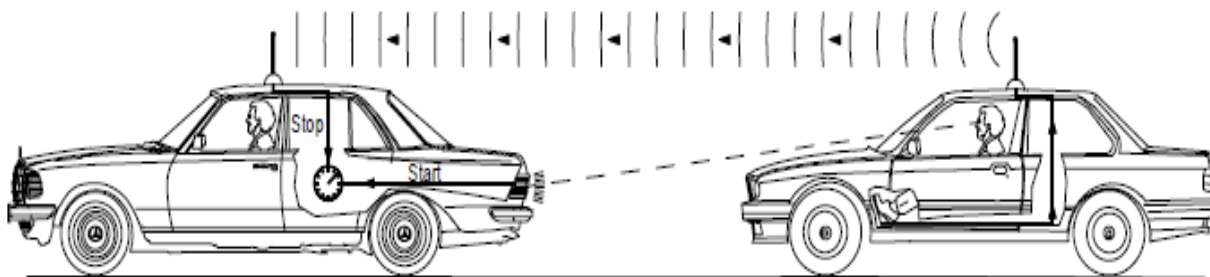
Graf. č. 4 – Kumulativních četností reakčních dob vyvolaných figurínou [36]

Stanovením základní reakční doby řidiče se zabýval ve své práci také Grandel, práce z roku 1980 obsahuje srovnání různých zkoušek osmi autorů, ze kterých byla stanovena reakční doba s ohledem na četnost výskytu. Doba reakce je udávána bez náběhu brzd. Na základě poskytnutých dat byla doba optické reakce stanovena jako konstanta s hodnotou 0,3 s.

Bez optické reakce byla reakční doba zkoušených osob 0,6 s při četnosti 50 % ($Q_{0,5}$). Výsledná reakční doba řidiče této četnosti činí 0,9 s.

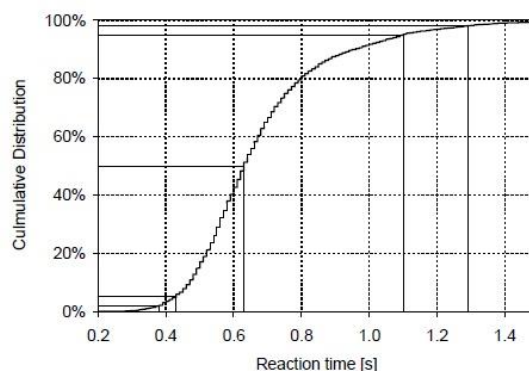
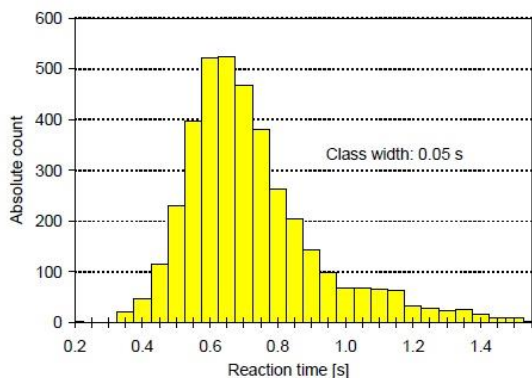
Reakční doba s 99 % četnosti z měřeného vzorku osob činila 1,4 s včetně optické reakce [35].

Experimenty měření reakční doby prováděné pomocí dvojice vozidel se zabýval Hugeman. Měření spočívalo ve sledování vedoucího vozidla vozidlem, který řídil testovaný řidič.



Obr. č. 10 – Měření reakční doby pomocí dvou vozidel [37]

Vedoucí vůz řídil experimentátor, při každém rozsvícení brzdových světel vedoucího vozu byl spuštěn čas, který byl zastaven v okamžiku příjmu signálu od sledujícího vozu. Sledující vozidlo bylo vybaveno zařízením k detekci a přenosu informace o počátku brzdění. Vyslaný signál od sledujícího vozidla byl zachycen vedoucím vozidlem a zároveň byl zastaven čas měřící odezvu. Testovaný řidič byl instruován k co nejrychlejší reakci brzdění, jakmile uvidí svítit brzdová světla vedoucího vozidla. Jízdní zkouška probíhala v mírném provozu na silnici II. třídy a trvala přibližně hodinu. Během zkoušení bylo naměřeno přibližně devadesát reakcí jednoho řidiče. Celkem se experimentu zúčastnilo 41 osob s převahou mladých studentů a bylo získáno 3 846 reakčních dob. Po analýze dat Hugemannem se jako věrohodné ukázalo exponenciální statistické rozdělení naměřených dat (obr. 13 levá část) [37].



Graf. č. 5 – Zastoupení reakčních dob, Přírůstkové procentuální zobrazení variací reakčních dob [37]

Po vyhodnocení naměřených dat byly výsledky rozděleny podle procentuálního zastoupení na dolní mez, střední a horní mez. Výsledky jsou uvedené v příložené tabulce č. 1.

Tab. č. 1 – Vyhodnocení výsledků Hugemannem [37]

	2 % percentil [s]	50 % percentil [s]	98 % percentil [s]
Optická reakce při podnětu do 5°	0,32	0,48	0,55
Optická reakce při podnětu ležícím mimo 5°	0,41	0,61	0,7
Psychická reakce	0,22	0,45	0,58
Svalová reakce	0,15	0,19	0,21
Náběh brzd	0,17	0,22	0,24
Reakční doba bez optické reakce	0,54	0,86	1,03
Reakční doba včetně optické reakce do 5°	0,86	1,34	1,58
Reakční doba včetně optické reakce mimo 5°	0,95	1,47	1,73

Širší rozbor složek reakcí řidiče na náhlý podnět uvedl Bradáč ve své knize k roku 1985. Na základě platnosti stanovených reakčních dob pro znaleckou i soudní praxi je možné stanovené údaje brát v potaz při výzkumu této práce. Níže je uvedena tabulka č. 2 reakčních dob vytvořená Bradáčem [38].

Tab. č. 2 – Rozpětí dob trvání reakce a prodlevy brzd [38]

Složky reakce		Doba trvání [sec]		
		spodní mez ($Q_{0,02}$)	střed ($Q_{0,5}$)	horní mez ($Q_{0,98}$)
Optická reakce	a) kritický objekt přímo pozorovaný	0,00	0,00	0,00
	b) pozorovaný jiný objekt do 5°	0,32	0,48	0,55
	c) pozorovaný jiný objekt nad 5°	0,41	0,61	0,70
Psychická reakce		0,22	0,45	0,58
Svalová reakce		0,15	0,19	0,21
Odezva vozidla	prodleva brzd	0,03	0,05	0,06
	náběh brzdného účinku	0,07	0,15	0,49
	odezva celkem	0,10	0,20	0,55
Suma	a) přímo pozorovaný	0,47	0,84	1,34
	b) pozorovaný do 5°	0,79	1,32	1,89
	c) pozorovaný nad 5°	0,88	1,45	2,01

6.1 Druhy měření

Měření reakčních dob lze provádět mnoha způsoby. Měřit reakční dobu lze pomocí laboratorních nebo jízdní zkoušek. Mezi nejsnazší metodu měření reakční doby se řadí laboratorní testování na jednoúčelových přístrojích. Realitě více odpovídající je zkoušení ve vozidlových simulátorech. Další skupinou jsou jízdní zkoušky na zkušebních tratích. Poslední a zároveň realitě odpovídající je testování v běžném provozu.

Laboratorní měření na jednoúčelových přístrojích

Mnohé psychologické vyšetření zahrnují zjišťování reakcí na podnět. To je prováděno pomocí jednoduchého měřicího zařízení, které je tvořeno potvrzovacím, zobrazovacím či zvukovým a výpočetním zařízením. Slouží ke zjištění reakční doby na jednoduchý zvukový nebo optický podnět, popřípadě může být kombinace zvukového i optického. Testovaná

osoba má reagovat, na podnět náhodně časově zvolený, stisknutím příslušného potvrzovacího prvku.



Obr. č. 11 – Příklad Schuhfried VTS pro měření psychické způsobilosti řidičů s odebraným oprávněním [39]

Podněty, na které má osoba reagovat, tvoří zobrazení příslušných symbolů specifických tvarů a barev, případně jejich různé kombinace. Test prováděný na tomto přístroji má odhalit rychlost reakce, počet vynechaných, opožděných nebo chybných reakcí. Na základě těchto výsledků je utvářen obraz funkce jednotlivých částí mozku, které jsou důležité pro řízení motorových vozidel.

Hlavním nedostatkem laboratorních testů je odtrženost od reality. V případě jednoúčelových přístrojů se přidává chyba měření spočívající v očekávání podnětu, to následně zkresluje výslednou reakci. Jednoúčelové přístroje pro měření reakcí jsou, ve smyslu stanovení reakční doby řidičů, nedokonalé, neboť jednotlivé podněty jsou variací stejného druhu události. Nedochozí proto k rozhodovací fázi v psychické reakci [34].

Experimenty prováděné tímto typem měřicího zařízení ukazují výrazně kratší reakční doby. Ve své diplomové práci, zabývající se reakcí na optický podnět, navrhnul Sedláček (2007) experiment spočívající ve zmáčknutí odpovědního tlačítka při zobrazení červeného terče na monitoru počítače. V okamžiku zobrazení terče je spuštěn čas, který je ukončen stlačením tlačítka. Interval zobrazení kritického obrazce jsou voleny náhodně pro zamezení podmíněného reflexu na čas. V rámci jednoho měření je připraveno deset podnětů.

Výsledky z tohoto měření udávají průměrnou rychlost reakce 0,265 s pro muže a 0,273 s pro ženy [13].

Měření na vozidlových simulátorech

Vozidlové simulátory představují nejvěrnější napodobení reálného řízení vozidla v laboratorních podmínkách. Vozidlové simulátory se dělí na dvě hlavní skupiny, první představuje plnohodnotné (těžké) simulátory, které jsou tvořeny celým vozidlem. Druhá skupina představuje lehké simulátory, ty využívají části vozidla, nebo kokpitu s nejdůležitějším ovládním. Simulační zařízení se skládá z karoserie vozidla s interiérem, promítacích ploch projekčního, výpočetního systému a propojení ovládacích prvků vozidla s výpočetním systémem. Nejvíce věrná je simulace jízdy v simulátoru s projekcí scény typu CAVE, kde je kokpit obklopen velkoformátovými LCD obrazovkami nebo plátny pro projekci obrazu. Tvar sestavení zobrazovacích ploch je nejčastěji krychle nebo kvádr. Mnohé simulátory disponují naklápěním plošiny s kokpitem podél tří os v závislosti na zrychlení. Simulátory umožňují navodit jakýkoliv vizuální podnět nebo celou scénu dle připraveného scénáře zaměřeného na sledování konkrétního chování řidiče. Hlavním přínosem simulátorů je identické prostředí vozidla, bezpečnost nebo snadná opakovatelnost požadovaných dějů [40].



Obr. č. 12 – Plnohodnotný vozidlový simulátor [40]

Vzhledem k zaměření této práce je účelné se dále zabývat experimenty na vozidlových simulátorech.

6.2 Poznatky z měření reakcí na vozidlových simulátorech

Výzkumy na simulátorech vozidel jsou velice přínosné pro svou bezpečnost a možnost jakéhokoli scénáře. Zároveň nejsou ovlivněny prostředím, to je výhoda pro testování za jakýchkoli povětrnostních podmínek venkovního prostředí. Parametry reálného prostředí jsou zahrnovány při návrhu trasy a tím je možné se přibližovat realitě. Hlavní nevýhoda simulátorů spočívá v odtržení od reality, neustálý vývoj značně snižuje dojem odtržení řidiče od reality, ale pro odstranění rozdílů mezi reálnou jízdou a virtuální bude zapotřebí ještě dlouhý vývoj.

Experiment prováděný na simulátoru Univerzity Iowa

Na Univerzitě v Iowa byl v roce 1999 prováděn výzkum porovnávající reakce řidičů ovládajících vozidlový simulátor s řízením vozidla ve skutečnosti. Vozidlový simulátor byl postaven s důrazem na zprostředkování co nejvíce reálných pohybů i podnětů.

Simulátor byl sestaven z plošiny, na které byla vystavěna místnost s kruhovitým půdorysem zahrnující projekční zařízení s úhlem projekce vpřed 190° a projekcí vzad 60° . Projektořky byly umístěny na stropě v jeho středu, obraz byl promítán na vnitřní stěnu kruhové místnosti. Plošina umožňovala klopení podél šesti os. Uvnitř místnosti bylo instalováno vozidlo Saturn značky Saturn corporation spadající do koncernu General Motors [41].



Obr. č. 13 – Vozidlový simulátor Univerzity Iowa [42]

Výzkumu se zúčastnilo šedesát mužů a stejný počet žen, ve věku od 25 do 55 let.

Událost, na kterou měli dobrovolníci reagovat, byla neočekávané střetnutí se s vozidlem v průsečné křižovatce. Výhled do směru příjezdu kolizního partnera v křižovatce byl zakryt. Všem dobrovolníkům bylo před řízením v simulátoru řečeno, že doba řízení je přibližně půl hodiny a po jízdě je čeká dotazník zaměřený na pocity z řízení a výhledu z vozidla na scénu. Dále byli upozorněni na rozmezí rychlosti 70 – 90 km/h které měli dodržovat. Modelovaná trať byla zasazena do vesnického prostředí, řidič sledoval dvoupruhovou směrově nerozdělenou silnici. Podnět k měřené reakci byl umístěn na samém konci tratě, kterou řidič projel přibližně za patnáct minut.

Další částí výzkumu byla jízdní zkouška. V ní čekal dobrovolníky podobný scénář jako v experimentu. Jízdnicích zkoušek se zúčastnilo 192 řidičů při shodném zastoupení u každého pohlaví. Věkový rozsah skupiny byl 25 – 55 let. Jízdní zkouška trvala přibližně 15 minut. Dobrovolník měl udržovat rychlost kolem 70 km/h, tak, aby časový odstup za vodícím vozidlem byl dvě vteřiny. Tato vzdálenost byla řidiči signalizována palubním přístrojem. Proband měl za úkol sledovat vodící vozidlo alespoň tři okruhy, v každém okruhu byla křižovatka s reálným provozem. V posledním kole na řidiče čekal podnět k úhybnému manévru, brzdění nebo jejich kombinaci. Za sledovaný vůz byl v křižovatce vystřelen pěnový model skutečné velikosti vozidla GM Saturn do cesty testovanému řidiči. Samotný pohyb pěnového modelu byl řízen polohou probandova vozidla.

Naměřené reakční doby včetně jednotlivých fází nejlépe ukazuje přiložená tabulka. Ta porovnává 95 % percentil reakcí řidičů v simulátoru se shodným percentilem reakcí získaných z jízdní zkoušky [41].

Tab. č. 3 – Porovnání naměřených reakčních dob [41]

Akce	Testování na simulátoru	Testování jízdní zkouškou
Uvolnění pedálu plynu [s]	0,96	1,28
Plný brzdny účinek (včetně náběhu brzd) [s]	2,2	2,3
První pohnutí volantem [s]	1,64	1,67

Na základě vyhodnocení naměřených dat bylo zjištěno, že použití pokročilých vozidlových simulátorů lze využít k stanovení reakčních dob řidiče, které jsou blízké reakčním dobám

naměřeným při jízdách zkouškách. Tímto experimentem byla prokázána dostačující míra věrohodnosti prováděných měření reakčních dob vzhledem ke zkouškám v běžném provozu [41].

Experiment prováděný v rámci doktorské práce Ing. Petra Ptáčka

Práce z roku 2001 se zabývala využitím vozidlového simulátoru pro znalecké zkoumání chování řidičů za účelem analýzy silničních nehod. Autor k výzkumu použil řidičský trenažér značky JKZ Olomouc s označením AT-97 VRT. Trenažér je navržen na základě interiéru Škody Felicie při zachování všech ovládacích prvků v dosahu řidiče. Upravený trenažér představuje obrázek č. 17.

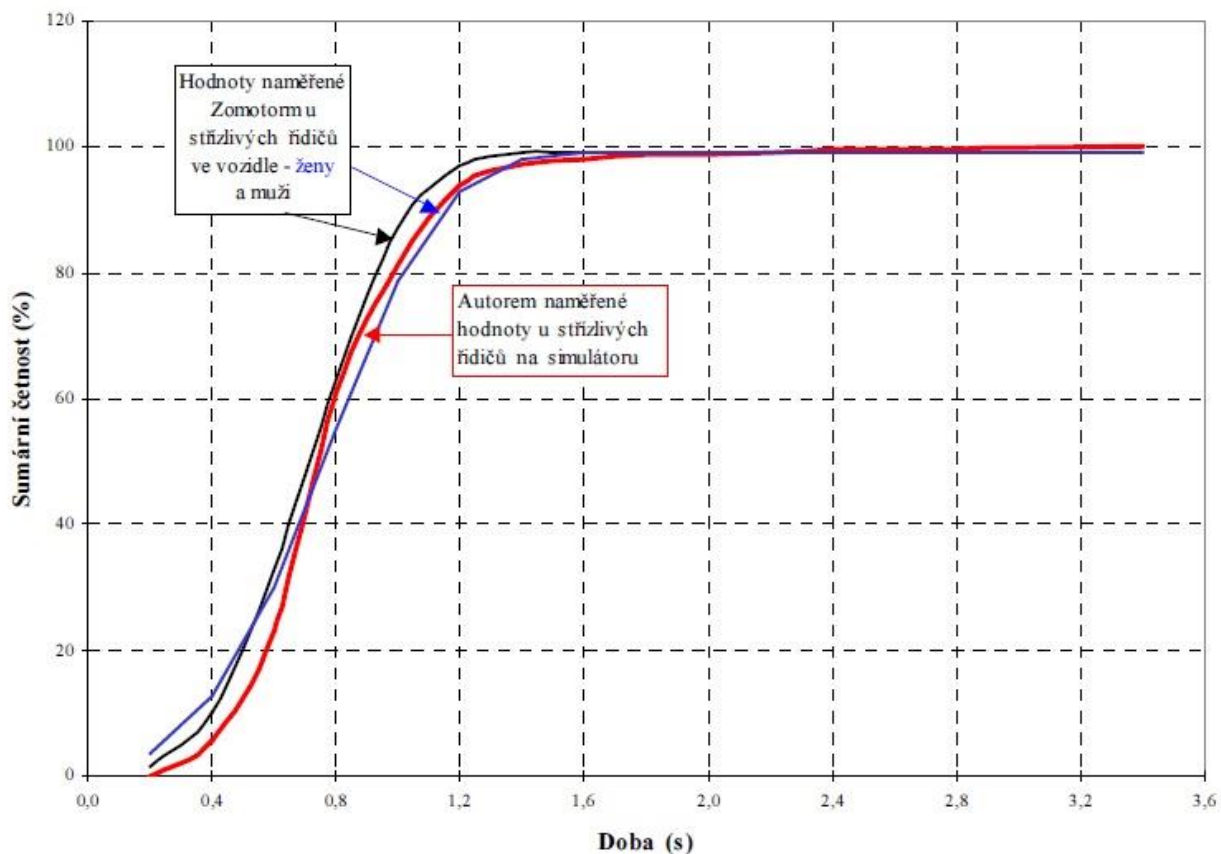


Obr. č. 14 – Upravený vozidlový trenažér AT – 97 VRT [36]

Aby bylo možné provést experiment bylo zařízení následovně upraveno, do navržené trati byly přidány nečekané objekty a animace sloužící jako podněty k reakci řidiče. Dále byl napsán program pro komunikaci simulátoru s tiskárnou k zaznamenání pohybů ovládacích prvků simulátoru při kritickém podnětu. Podněty, na které měl řidič reagovat, byly zvoleny čtyři. První podnět představovala bílá krabice náhle se objevující za dojížděným vozidlem. Druhým podnětem byla srna vstupující do průjezdného profilu z levé strany přes protisměrný jízdní pruh. Situace, kdy do jízdní dráhy vběhne z pravého příkopu prase divoké, je třetím podnětem. Nejvyšší závažnost ze všech situací má smýkající se nákladní souprava, přes

celou šíři vozovky, jedoucí z protisměru. Jízdní trať je zasazena do rovinatého terénu, sledující dvoupruhovou komunikaci lemovanou křovinami a lesem.

Měření se zúčastnilo 56 dobrovolníků. Výsledky výzkumu charakterizuje graf č. 4 zobrazující reakci řidičů, který zároveň vyobrazuje výsledky měření Zomatora a umožňuje tak snadné porovnání výsledků. [36]



Graf. č. 6 – Porovnání naměřených reakčních dob [36]

Analyzováním grafu byly stanoveny reakční časy pro 2, 50 a 98 % percentil, aby bylo možné porovnat s ostatními výsledky výzkumů. Hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. č. 4 – Reakční doby získané Ptáčkem [36]

2 % percentil [s]	50 % percentil [s]	98 % percentil [s]
0,274	0,724	1,462

Výzkum reakčních dob řidičů při brzdění provedený na East Carolina University

Autorka práce Danielle Brownová zkoumala ve své disertační práci z roku 2012 rozdíly reakčních dob brzdění a vyvinuté brzdné síly. Měření bylo prováděno mezi dvěma věkovými skupinami 19 – 38 a 59 – 83 let a zároveň mezi jednoduchým testovacím zařízením pro zjištění vyvinuté síly na pedál, reakční doby k stlačení pedálu a vozidlovým simulátorem při měření shodných parametrů.

Za účelem této diplomové práce postačí data získaná od nižší věkové kategorie naměřené ve vozidlovém simulátoru. Protože se výzkum nezaměřuje na starší věkovou skupinu a k měření probíhá na vozidlovém simulátoru.

K měření byl využit simulátor WT-2000 od výrobce Systems Technology, Inc., který je tvořen kokpitem vozidla s ovládacími prvky, řazení je automatické proto stačí pedál plynu a brzdy. Simulátor nemá palubní přístroje, ukazatel rychlosti i otáček motoru jsou zobrazeny na displeji. Scéna je řidiči zobrazována na tři širokoúhlé displeje, krajní jsou natočeny přibližně pod úhlem 70° k řidiči [43].



Obr. č. 15 – Simulátor WT-2000 využitý pro výzkum [43]

Výzkumu se zúčastnilo 33 dobrovolníků, ti byli seznámeni s ovládáním simulátoru. Dvě trati byly tréninkové a poslední byla měřena. V měřené trati byly řidiči připraveny dvě kritické události, první spočívá v nečekané změně signálu „Volno“ na „Stůj“ bez přechodu na signál „připrav se“. Druhá událost demonstruje vstup chodce před vozidlo. Výsledky získané experimentem jsou uvedeny v následující tabulce.[43]

Tab. č. 5 – Naměřené reakce při výzkumu Brownové [43]

	Střední hodnota	Odchylka	Interval hodnot
Svalová reakce	0,605	0,117	0,394 - 0,834
Celková reakční doba	1,148	0,252	0,9 - 1,9

7 Výzkum

S rostoucím množstvím asistentů aktivní bezpečnosti v nových vozidlech narůstá počet podnětů, které jsou řidiči sdělovány multimediálním zařízením vozidla. Mnoho pozornosti řidiče vyžaduje navigace, ovládání rádia nebo mobilního telefonu, který je zakázáno držet v ruce za jízdy zákonem 361/2000 Sb.. Lze namítnout, že právě pro nepozornost a horší řidičský um jsou zavedeny systémy s automatickým zásahem do trajektorie a rychlosti jízdy. Trend vývoje registrace vozidel je dlouhodobě vzestupný, z toho vyplývá stále hustší provoz, i zvyšující se pravděpodobnost havárie vozidel, která je zapříčiněna chybou řidiče. Proto vyvstávají otázky. Jsou řidiči dostatečně způsobilí pro zajištění bezpečné jízdy? Jsou řidiči schopni bez pomoci asistentů aktivní bezpečnosti zavčas reagovat na vzniklé situace?

7.1 Hypotéza.

Reakce řidičů je pro bezpečnou jízdu potřeba podpořit asistenty aktivní bezpečnosti s možností korekce směru a rychlosti vozidla.

7.2 Vymezení problému a formulace cíle jeho řešení

1. Zjištění reakční doby řidičů, za pomoci vozidlového simulátoru, na jednoduchý optický podnět, který je jasně identifikovatelný.
2. Analyzovat včasnost reakce, vzhledem k následkům plynoucím z opožděné nebo nevhodné reakce.

7.3 Rámcová metodika výzkumu

Navržená metodika vedoucí k popsáním cílům se skládá z těchto stěžejních bodů:

- Návrhu a zhotovení tratě pro vozidlový simulátor, která se bude co nejvíce blížit realitě. Trat zahrnující podněty, na které má řidič reagovat.
- EXPERIMENT – seznámení testovaných řidičů s ovládáním vozidlového simulátoru ve cvičné trati. Připomenutí řízení dle pravidel silničního provozu, před spuštěním testovací tratě.
- Vyhodnocení naměřených dat, porovnání se známými poznatky, zhodnocení hypotézy

7.4 Popis vozidlového simulátoru využitého k výzkumu

Výzkum byl prováděn na vozidlovém simulátoru Ústavu dopravních systémů Fakulty dopravní ČVUT v Praze. Simulátor je tvořen částí karoserie vozidla, která zahrnuje A a B sloupky. Interiér je převzatý ze Škody Octavia II. Obraz je promítán třemi dataprojektory s HD rozlišením na tři plátna umístěna naproti řidiči a po obou stranách. Tím je pokryt celý zorný úhel řidiče. Periferní vnímání scény je zajištěné shodným výhledem ze simulátoru jako v opravdovém vozidle.



Obr. č. 16 – Simulátor použitý k vlastnímu experimentu

Ovládací prvky simulátoru jsou skrz digitální převodník propojeny s výpočetním systémem simulátoru. Výpočetní systém se skládá z dvou hlavních prvků a jednoho okrajového. První prvek vyhodnocuje vstupující data skrz fyzikální model a ve výsledné podobě je zasílá druhému prvku, který je zodpovědný za grafický převod na obrazová data, které promítnou dataprojektory na plátna. Pro funkci palubních přístrojů (rychloměru a otáčkoměru) jsou příslušná data z fyzikálního modelu zaslány počítači, který je převede na signál vhodný pro palubní ručičkové přístroje. Systém pro vyhodnocení dat využívá počítač s procesorem Intel Core i7 ve spolupráci s 16GB operační pamětí. Grafický prvek je zastoupen počítačem s procesorem Intel Core i7 a operační pamětí 16GB. Tyto hardwarové parametry zajišťují dostatečný výkon pro provedení náročných akcí a plynulého zobrazení scény.

7.5 Návrh tratě pro vozidlový simulátor

Hlavní důraz při návrhu tratě byl kladen na adekvátní délku vzhledem k počtu událostí, na které by řidič měl reagovat. Pro stanovení pěti událostí byla navržena délka 7,4 km. Při této vzdálenosti je zajištěna dostatečný časová mezera pro zklidnění mysli řidiče po každé události. Trať byla navržena rovinatým, až mírně kopcovitým terénem s většími a středními poloměry směrových oblouků. Charakter silnice je na pomezí I. až II. třídy, silnice prochází 3 vesnicemi, jedním tunelem a kříží se s železnicí. Komunikace je vybavená vodorovným i svislým dopravním značením. Za účelem přiblížení se realitě jsou v trati navrženy animace objektů, například jízda vlaku nebo otáčení větrné elektrárny.

7.6 Stanovení podnětů pro reakci

Reakční doba je měřena na základě optického podnětu, který řidič registruje jako signál „Stůj“ na světelném signalizačním zařízení. Tento typ signálu byl vybrán z důvodu svého jednoznačného významu, z toho plyne jednoznačná reakce řidiče, pokud signál rozpozná. Viditelnost SSZ byla koncipována tak, aby úhel pohledu řidiče na semafor od přímého výhledu byl do 5°. Testovací trať obsahuje tři Světelné signalizační zařízení v podobě semaforu, jedno světelné zabezpečovací zařízení železničního přejezdu doplněného závorami a jedno světelné signalizační zařízení uzavření tunelu. Jednotlivé podněty jsou rozmístěny tak, aby řidiči nebyla jejich četnost nápadná a nezpůsobila podezřívavou reakci či jízdu ve stresu z další události. Každé světelné signalizační zařízení je v navržené trati umístěno v souladu s platnými Technickými podmínkami. Je viditelné v dostatečném předstihu při zohlednění maximální dovolené rychlosti dosahovaných v těchto úsecích. Okamžik spuštění signálu je řízen průjezdem vozidla stanovenou oblastí komunikace. Oblast se nachází vždy v dohledové vzdálenosti před světelným signalizačním zařízením. Důvod tohoto umístění podnětu je co možná největší přiblížení se skutečné realitě, kdy řidič přijíždí k semaforu, sleduje zobrazený signál, případně reaguje na změnu signálu.

7.7 Popis účastníků výzkumu

Výzkumu se zúčastnilo 29 dobrovolníků, většinu tvořili muži ve věku od 24 do 30 let. Okrajovou skupinu tvořily čtyři ženy, ve věku od 23 do 26 let. Všichni dobrovolníci byli držiteli platného řidičského oprávnění skupiny B, aktivními řidiči se zkušenostmi s řízením automobilu více jak 3 roky. Většinu účastníků tvořili studenti napříč fakultami ČVUT.

Do výsledků nebyli zahrnuti tři dobrovolníci, u kterých se projevil nevolnost způsobené řízením simulátoru, jejich jízda byla ukončena v rámci cvičné tratě.

7.8 Postup při vyhodnocení naměřených dat

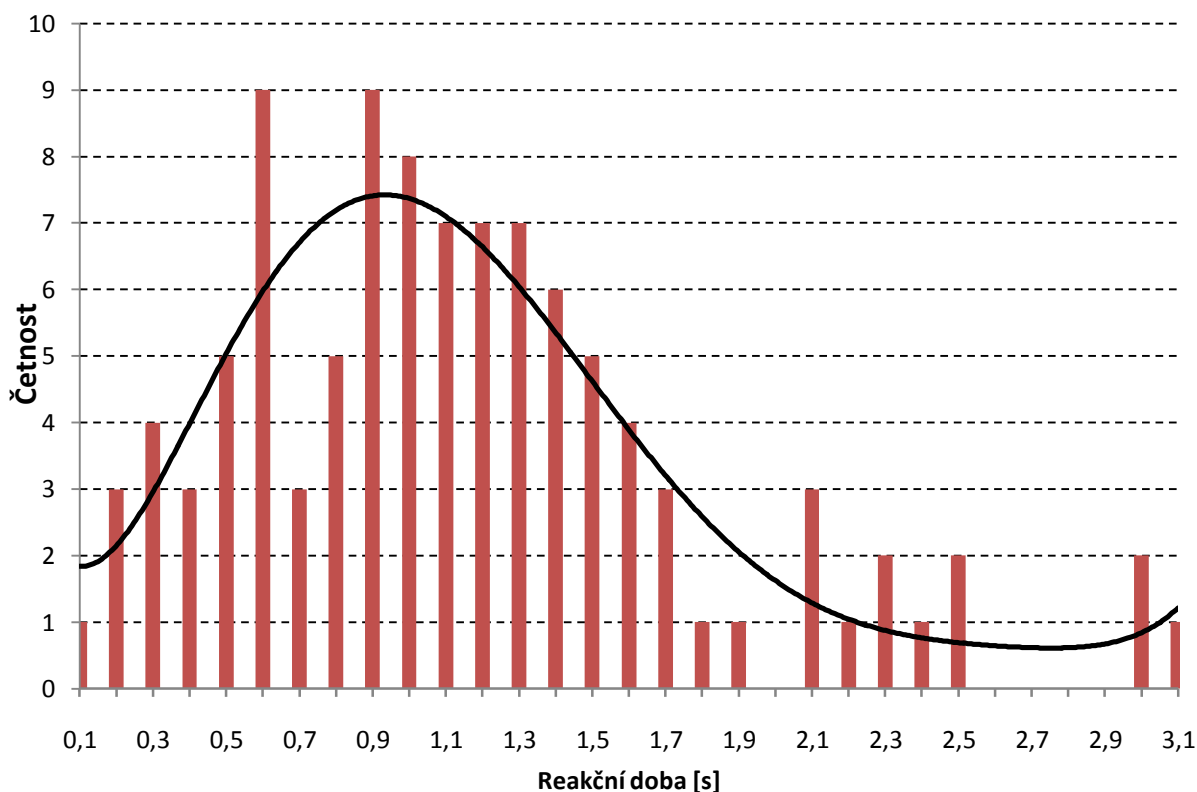
Data použitá k vyhodnocení obsahují záznam funkce všech ovládacích prvků simulátoru. Jsou vztažena k poloze, času a rychlosti vozidla, zároveň je zaznamenán moment spuštění události, na kterou má řidič reagovat. Data jsou získána ve formátu txt, proto jsou pro potřebu analýzy převedena do formátu xlsx a dále je s nimi pracováno v programu MS Excel 2010. Záznam řízení simulátoru je proveden s krokem po osmi milisekundách, kdy se uloží zjištěné hodnoty do příslušných sloupců jednoho řádku. Samotné vyhodnocení dat probíhalo ručně pomocí základních funkcí: Percentil, Četnosti, Suma, Počet, Vyhledat a další. Stanovení reakční doby řidiče odpovídal uplynulý čas od spuštění události po první dotyk boty s brzdovým pedálem, mnozí řidiči reagovali přidáním plynu namísto brzděním. V takovém případě byla měřena doba, která uplynula od spuštění reakce po zřetelnou změnu hodnot z plynového pedálu. Při brzděné reakci řidiče byla měřena doba od prvního kontaktu chodidla s pedálem po maximální udanou hodnotu časově navazující na okamžik sešlápnutí brzdy. Tímto způsobem byla měřena doba náběhu brzd. V okamžik zahájení brzdění, byla zaznamenána aktuální rychlost vozidla, v případě zastavení vozidla před světelným signalizačním zařízením byla spočtena doba brzdění do zastavení. Když řidič nezastavil před signalizačním zařízením, byla započtena rychlost při průjezdu kolem něj i doba, po kterou k tomuto bodu brzdil, nebo akceleroval.

K reakční době řidiče získané při brzdění, byla pro informaci využita doba přesunutí nohy z pedálu brzdového na plynový. Doba byla měřena při signálu „Volno“ kdy proband držel sešlápnutý brzdový pedál při čekání na signál „Stůj“ a následně přesunul nohu a stlačil plynový pedál pro rozjezd. Doba reakce byla měřena od zřetelného snížení hodnot udávaných brzdou, po první zvýšení hodnot udávaných plynem. Hodnota je orientační neboť signál „volno“ neznačí pro řidiče žádné nebezpečí, a z toho neplyne nutnost rychlé reakce.

8 Výsledky experimentu

8.1 Statistické rozložení naměřených dat

Na základě výzkumu Hugemanna v roce 2002 [39] bylo porovnáno rozložení naměřených reakčních dob s cílem statistického ověření naměřených dat a porovnání se závěrem autora.

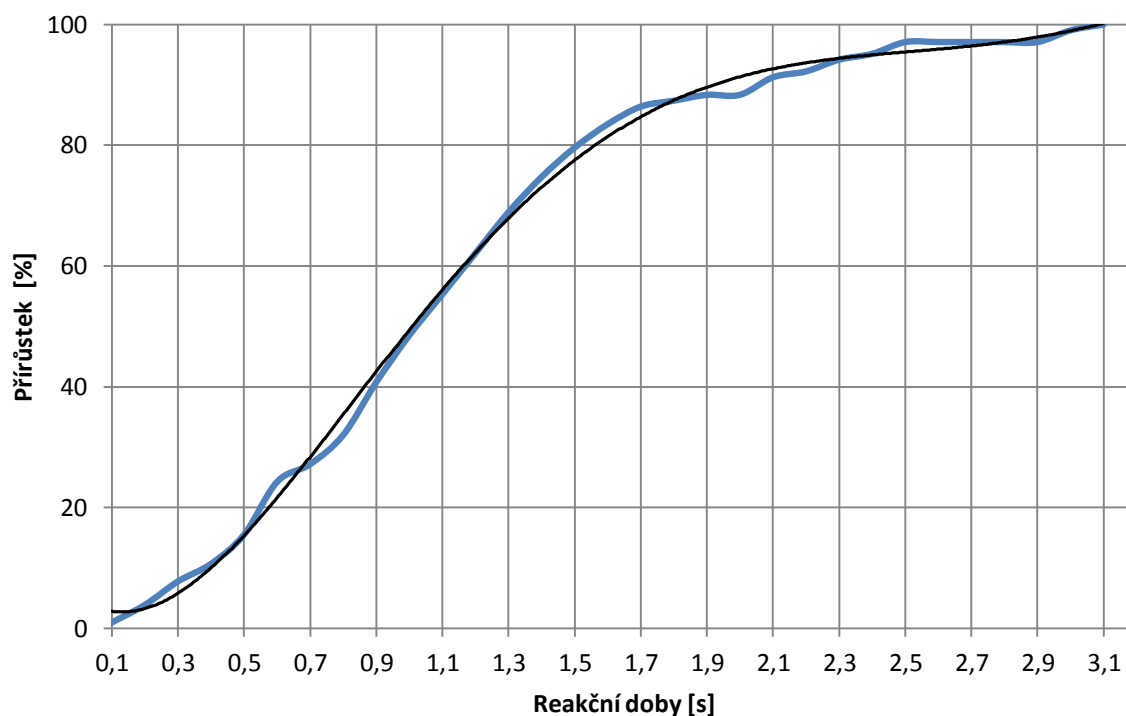


Graf č. 7 – Zastoupení reakčních dob

I přes poměrně malý vzorek dat je z grafu viditelné exponenciální rozdělení, které znázorňuje polynomická spojnice trendu. Statistické Exponenciální rozdělení četností reakčních dob bylo sledováno shodného charakteru jako v práci Hugemanna [39].

8.2 Stanovení reakční doby řidiče

Počet hodnot, k zjištění doby reakcí, bylo po vyhodnocení 103 namísto 130 a to díky trendu hodnot brzd, které nebylo možno rozpoznat. Někteří řidiči brzdili již déle před spuštěním události s konstantním zpomalením, které jim umožnilo zastavit vozidlo před SSZ. Naměřených 103 hodnot nejlépe charakterizuje přiložený graf.



Graf č. 8 – Přírůstkové zastoupení reakčních dob

Modrá křivka v grafu představuje jednotlivé reakční doby v procentech, které se sčítají a vytváří tak spojnicí od 0 do 100 %. Část křivky, která se nejvíce blíží lineárnímu trendu, představuje hlavní skupinu hodnot s podobným procentuálním zastoupením. Oblasti s drobným zvlněním mají příčinu v prudší změně hodnot, ta je způsobena nižším počtem naměřených hodnot v tomto intervalu.

Přesnost měření je stanovena vzorkovací frekvencí simulátoru, ta činí 8 milisekund. Při odečítání hodnot nebyla oblast hodnot ohraničena, proto je výsledná chyba měření 16 milisekund. Nejnižší naměřená hodnota byla 0,096 s, byla naměřena při spuštění SZZ přejezdu, kdy řidič prudce přidal plyn. Proto reakce nezahrnuje přesun nohy mezi pedály a může nabývat takto nízké hodnoty času. Nejvyšší naměřena hodnota byla 3,056 s, kdy řidič intenzivně brzdil před semaforem umístěným na vedlejší komunikaci. Otázkou je, zda opravdu reagoval na změnu barvy signálu na semaforu, nebo si jí všimnul až později a proto prudce brzdil. V obou případech je patrné, že tyto okrajové hodnoty jsou zanedbatelné svojí váhou (četností), která představuje jednu hodnotu. Průměrná reakční doba představuje 1,248 s, s odchylkou 0,016.

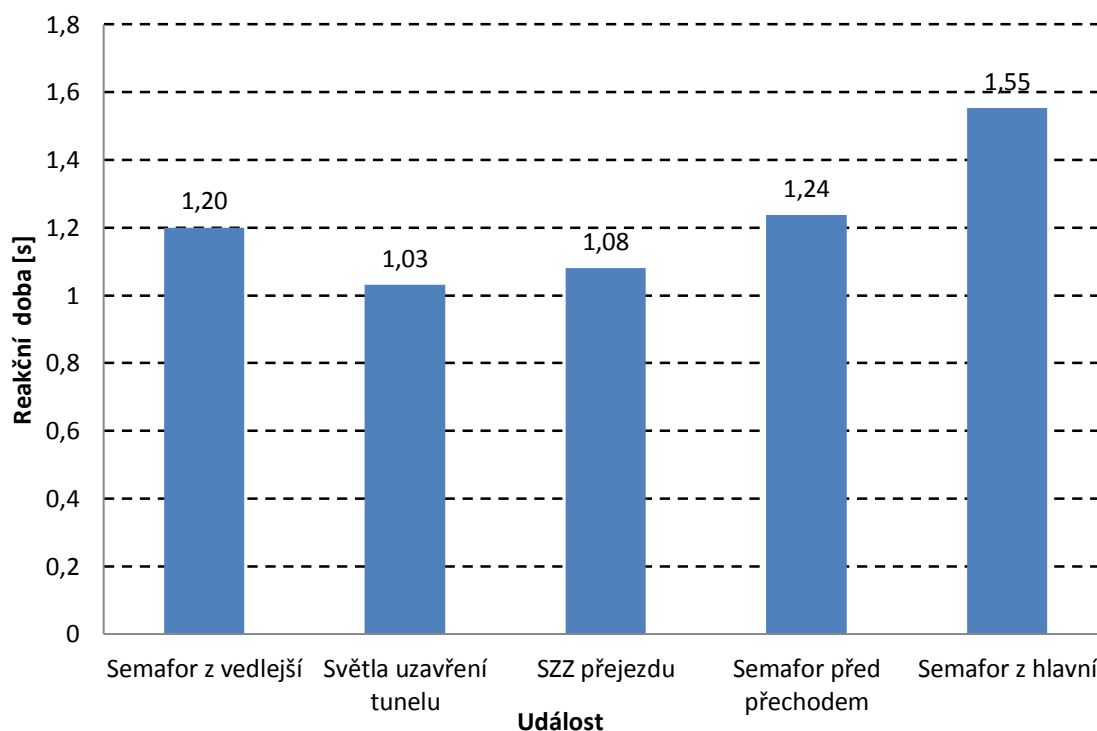
Tab. č. 6 – Hodnoty reakčních dob získané experimentem

Percentil	Reakční doba [s]
2 %	0,130
50 %	1,012
98 %	2,986

8.3 Vliv události na reakční dobu

Reakční doby byly měřeny v pěti různých událostech, každá byla odlišná a měla za úkol zjistit chování probanda při různé míře ohrožení jeho bezpečnosti. Lze říci, že situace s nejvyšším ohrožením bezpečnosti řidiče při nedbalé či pomalé reakci představuje událost spuštění SZZ přejezdu železniční trati doplněného závorami, ty byly načasované na spuštění po dvou sekundách po rozblikání světel přejezdu. Tato událost byla třetí v pořadí jízdy probanda. Poměrně velké nebezpečí představuje uzavřený tunel s obousměrným provozem, druhý v pořadí. Toto nebezpečí je vnímáno především řidiči, kteří mají zkušenosti s jízdou v tunelech. Klasické semaforey představují nebezpečí úměrné jejich umístění (vedlejší, hlavní komunikace) i přehlednosti navazujícího úseku. Vliv na reakci řidiče může mít i samotné pořadí událostí, kdy první událost je pro řidiče novinkou a není očekáván podnět pro reakci. Následující reakce mohou být očekávané v momentě rozpoznání světelného signálního zařízení, pokud to probandovi přijde nápadné a zároveň se nepodaří odvést myšlenkovou pozornost řízením od předcházející události. Kombinace těchto podmínek je v rozporu s myšlenkovým proniknutím do řízení simulátoru a proto lze očekávání podnětu apriori označit za marginální.

Výsledky naměřené pro jednotlivé události uvádí graf č. 3. a následující tabulka.



Graf č. 9 – Průměrná reakční doba každé události

Z grafu vyplývá, že probandi měli zkušenosti s jízdou v tunelu, a proto relativně rychle reagovali, což vedlo k nejnižší průměrné době reakce. V události semafor z hlavní byla zjištěna nejdelší průměrná reakční doba, která je velkou měrou závislá na přehlednosti křižovatky i úseku na ní navazujícího. Výhled řidiče v této události je daleký jak do připojující se vedlejší tak do probíhající hlavní komunikace. Reakční doby získané z 2. a 3. události dosahují velice blízké hodnoty, ta je pravděpodobně zapříčiněna podnětem s vysokou důležitostí reakce.

Aby získané reakční doby mohly být porovnatelné, zároveň zprostředkovávaly hodnoty z celého spektra, byly vypočteny signifikantní hodnoty 2, 50 a 90 % percentilu.

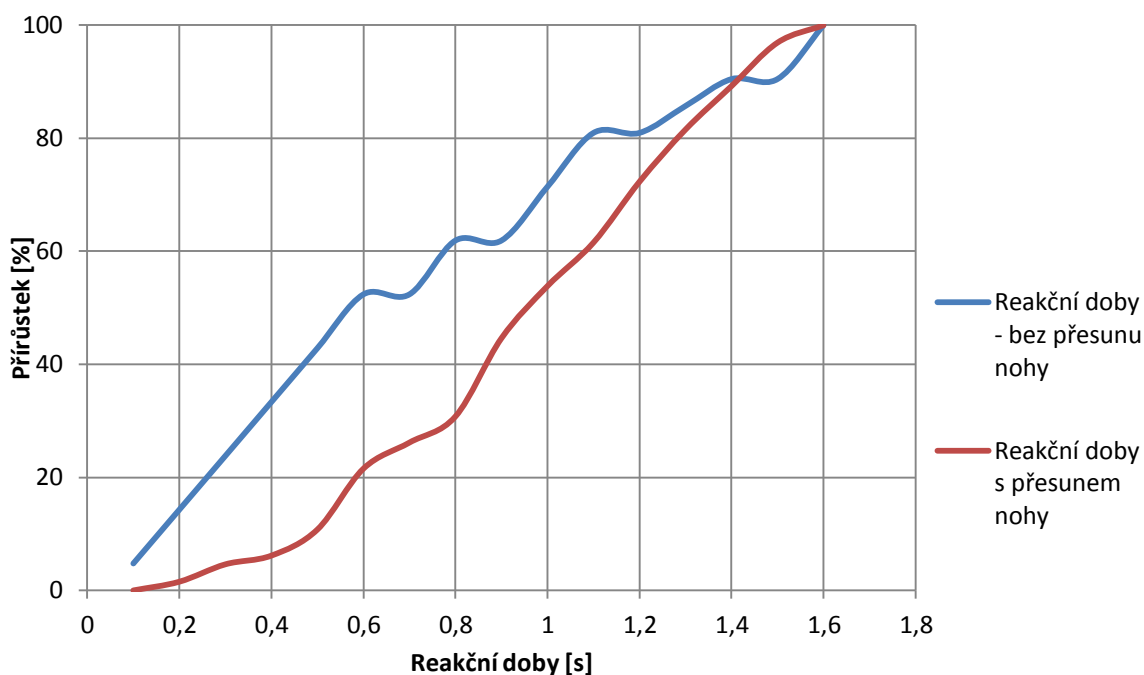
Tab. č. 7 – Hodnoty reakčních dob jednotlivých událostí

Percentil	Semafor z vedlejší [s]	Světla uzavření tunelu [s]	SZZ přejezdu [s]	Semafor před přechodem [s]	Semafor z hlavní [s]
2 %	0,26	0,28	0,49	0,61	0,60
50 %	0,98	1,02	1,00	1,19	1,44
98 %	2,79	1,75	2,22	2,57	2,84

Nejnižší hodnota pro kvantil 0,98 je s významným odstupem pro situaci tunelu, zde je podnět pravděpodobně nejméně čekáný, proto musí proběhnout rychlá reakce, aby proband stihnul zastavit. Naopak nejdelší reakční doba je v první situaci, kde mohlo dojít k reakci, která nebyla odpovědí na změnu signálu na semaforu, ale nastala až později vlivem vývoje situace.

8.4 Vliv svalové reakce na reakční dobu

Při vyhodnocení dat bylo zjištěno 35 reakcí na kritický podnět bez přesunutí nohy mezi pedály. Tyto údaje umožnily zjistit dobu svalové reakce. Velkým omezením je velikost souboru dat i jejich interval, který nabýval hodnot 0,096 – 1,6 s. Aby se hodnoty dali porovnat, byl vybrán shodný interval ze souboru s přesunem nohy mezi pedály. Uvedené porovnání slouží zejména pro zdůraznění svalové složky reakce, nikoliv jako stěžejní část výzkumu. Pro názornost je uveden graf číslo 3.



Graf č. 10 – Srovnání RD s přesunem nohy a bez něj

Hodnoty zobrazené grafem byli propočtené funkcí Percentil s vyhledáním 10%, 50% a 90% percentilu a to z důvodu malého vzorku dat pro výpočet 2 a 98 % percentilu. Hodnoty jsou uvedené v tabulce č. 7.

Tab. č. 8 – Doby svalové reakce při brzdění

Percentil	Přesun nohy [s]	Bez přesunu [s]	Doba svalové reakce [s]
10 %	0,497	0,160	0,337
50 %	0,952	0,568	0,384
90 %	1,405	1,352	0,053

Získaná data umožnily porovnat svalovou reakci při brzdění a rozjezdu, kdy řidič nemusel reagovat tak rychle, protože jej neohrožovalo nebezpečí vzniklé z pozdní reakce. Doba svalové reakce při rozjezdu je odhadována výrazně delší. Velikost souboru dat je 75 hodnot. Výsledky uvádí přiložená tabulka.

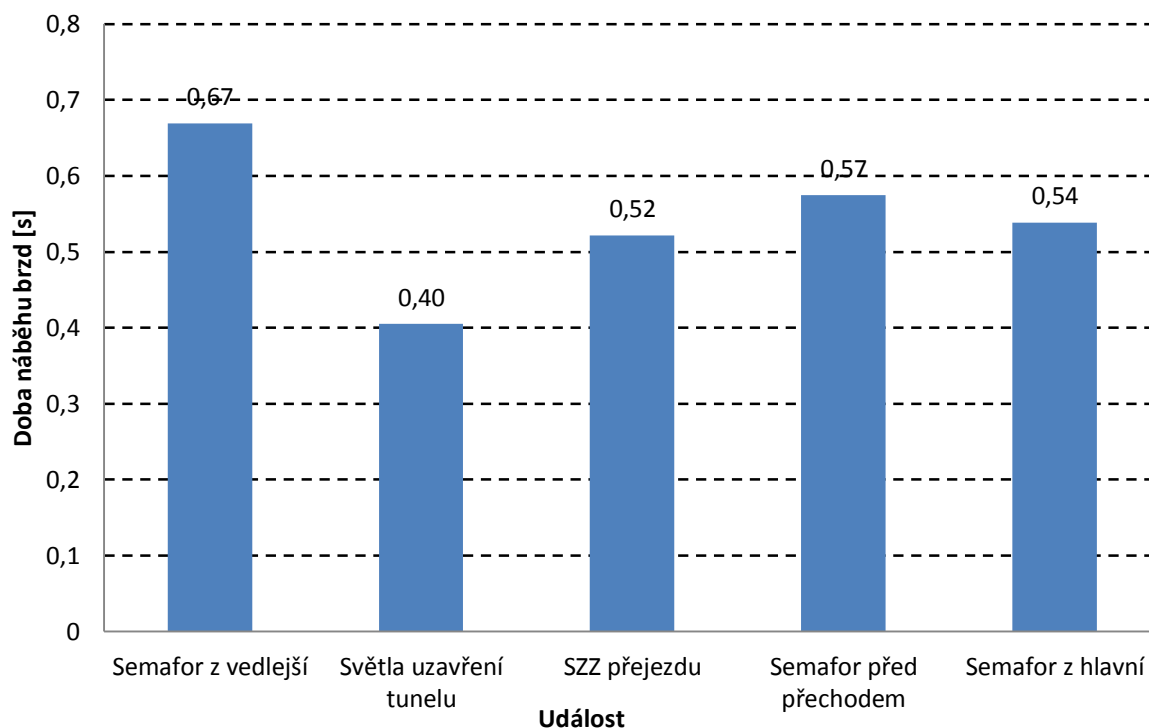
Tab. č. 9 – Doby svalové reakce při rozjezdu

Percentil	Svalová reakce [s]
10 %	0,357
50 %	0,816
90 %	1,461

Při srovnání výsledků je patrné malé množství dat při brzdné reakci, díky kterému vyšel kvantil 0,9 pouhé 0,053 s oproti 1,461 s při svalové reakci rozjezdu. Střední hodnota udává očekávané výsledky, kdy je svalová reakce na málo významný podnět přibližně dvakrát delší. Naopak desetiprocentní zastoupení z obou složek se liší pouze o 0,02 s ve prospěch významného podnětu, hodnota demonstruje malý soubor dat.

8.5 Doba sešlápnutí brzdy

Pro bezpečnost jízdy je zásadní jak včasná reakce, reakční doba tak i průběh brzdění. Při reakci na kritický podnět by měla být křivka průběhu hodnot brzdy v čase vždy prudce rostoucí, bez následných poklesů a růstů. Nevhodný průběh brzdění řeší brzdový asistenční systém, o kterém bylo pojednáno na konci kapitoly 7.3. Experiment zahrnuje pět událostí, z nichž ve dvou dochází ke kritickému podnětu, jedná se o světla označující uzavření tunelu a světelné zabezpečovací zařízení přejezdu. Získané hodnoty leží v intervalu 0 - 1000, kde 0 představuje pedál v základní poloze a 1000 maximální sešlápnutí. V těchto situacích byl zkoumán průběh brzdění. Průměrné doby stlačení pedálu brzdy zobrazuje graf č. 7.



Graf č. 11 – Průměrná doba stlačení brzdového pedálu v každé události

První situace dosáhla nejvyšší průměrné hodnoty pravděpodobně kombinací více faktorů. Hlavní z nich spočíval v umístění situace. Křižovatka leží na konci dlouhého přímého úseku s rozhledem na obě strany hlavní komunikace, proto řidič mohl na volnoběh dojíždět až před semafor a brzdit volně a lehce. Nejnižší hodnota byla získána v situaci tunelu, tato událost je z pohledu českého řidiče málo pravděpodobná, proto žádného řidiče nenapadlo jet na volnoběh před tunelem. Tím se zkrátila doba na zastavení a svalová reakce musela být rychlá. Zbylé průměrné časy jsou bez výrazného rozdílu, i přes situaci s železničním přejezdem.

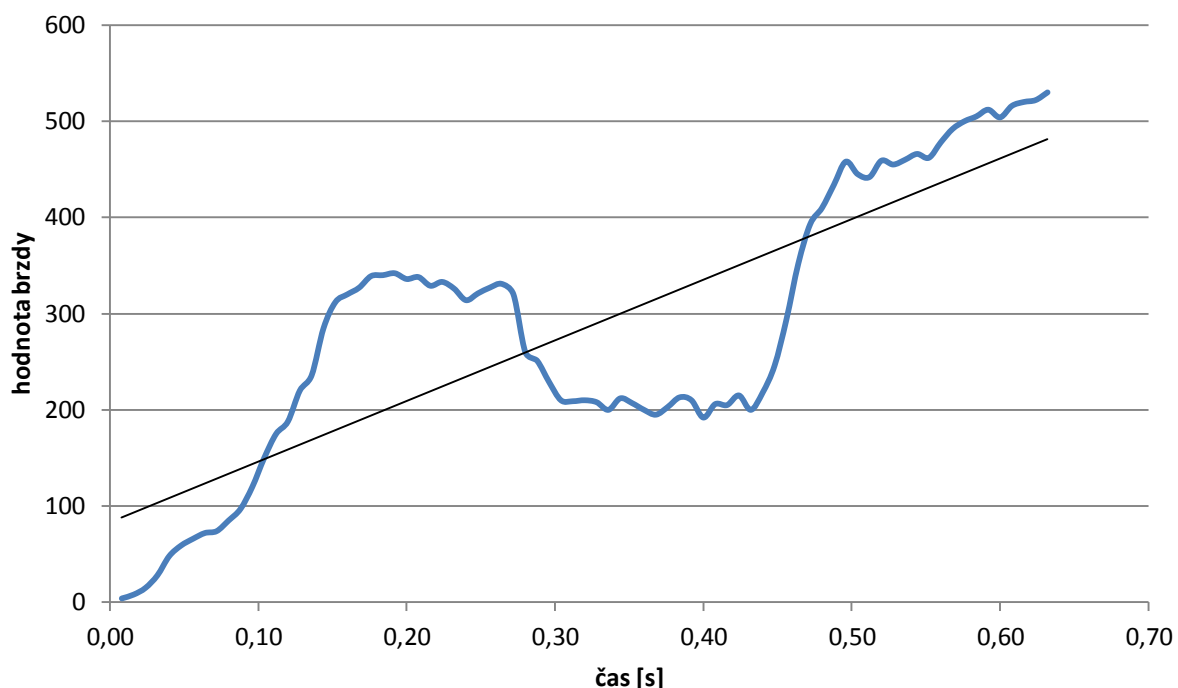
Aby bylo možné vytvořit si lepší představu o rozložení dob sešlápnutí brzd byly stanoveny quantily 0,02; 0,5 a 0,98. Ty jsou uvedeny v následující tabulce č.10.

Tab. č. 10 – Hodnoty doby sešlápnutí brzdy pro významné kvantily

Percentil	Semafor z vedlejší [s]	Světla uzavření tunelu [s]	SZZ přejezdu [s]	Semafor před přechodem [s]	Semafor z hlavní [s]
2 %	0,22	0,10	0,17	0,18	0,14
50 %	0,66	0,32	0,40	0,55	0,49
98 %	1,40	1,16	1,42	1,42	1,06

Pro zjištění správného průběhu brzdění byly vytvořeny grafy, které zobrazují dva různé charaktery sešlápnutí brzdy, jeden typický pro začátečníka a druhý pro zkušeného řidiče. Hlavním cílem bylo naměřit „začátečnické“ brzdění a stanovit jeho četnost.

Brzdění začátečníka se vyznačuje kolísavým náběhem brzdového tlaku, kdy tlak nejprve roste, následně klesá a znova roste [32]. Zkušený řidič sešlapuje brzdu bez polevení, proto tlak pouze stoupá. Brzdový tlak je v experimentu nahrazen hodnotou stlačení pedálu, která v reálné jízdě podmiňuje brzdový tlak a tím účinek brzdění. Uvedené grafy trendů sešlápnutí brzdy představují nejčastější trend vývoje hodnoty brzdy ze všech naměřených trendů.

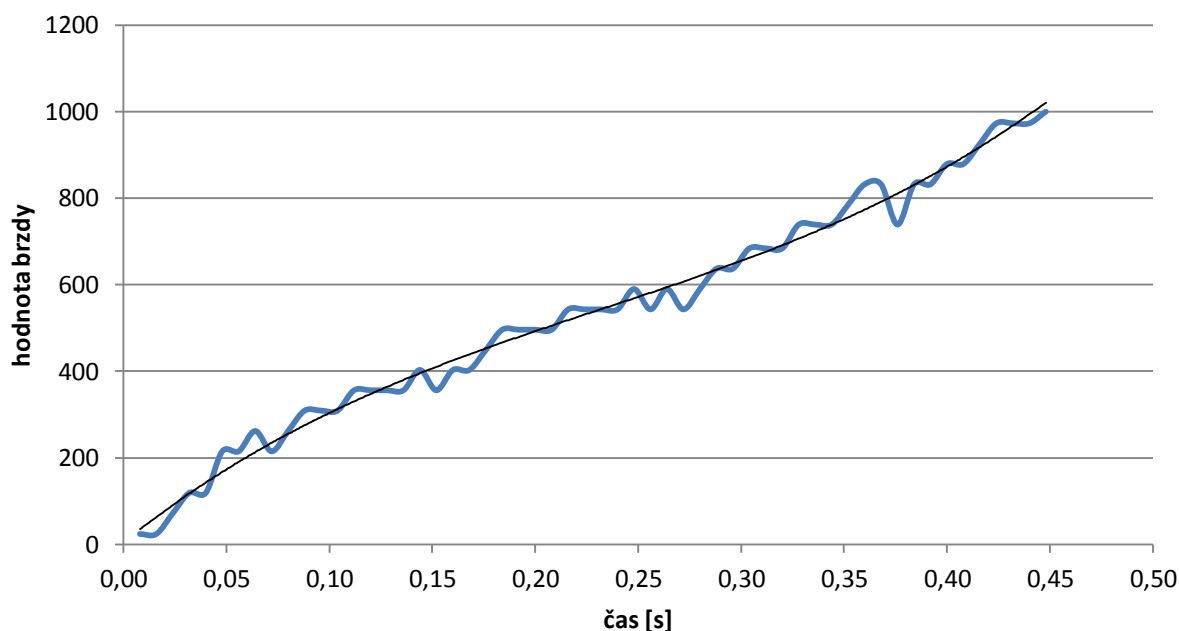


Graf č. 12 – Trend sešlápnutí brzdy „začátečníka“

V grafu je zřetelný kolísavý průběh vývoje hodnoty brzdy, který zpočátku roste bez polevení, následuje relativně konstantní úsek, dále hodnota klesá a drží se kolem 200. Dále navazuje

prudký nárůst, který kolem hodnoty 450 přechází v pomalejší růst až do maximální hodnoty. V grafu se vyskytují drobné odchylky v oblastech, kdy je stlačení pedálu pomalé nebo je udržováno určité sešlápnutí. Odchylky jsou způsobené citlivostí měřícího zařízení. Průběh hodnot byl proložen lineární spojnicí trendu, která znázorňuje výsledný průběh brzdění v čase. Uvedený průběh brzdění je typický pro řidiče začátečníky. Četnost výskytů tohoto typu brzdění byla minimální, z 52 změřených trendů se vyskytl pouze dvakrát, což představuje 1,04 % ze získaného souboru trendů. Výsledek ukazuje zdatnost dobrovolníku v brzdění, současně může být ovlivněn malým množstvím získaných trendů.

Největší zastoupení v získaných trendech sešlápnutí brzdy měla správná brzdění. Ze všech získaných trendů bylo 58 % hodnoceno jako správné sešlápnutí brzdy v kritické situaci, neboť hodnota brzdy rostla bez poklesů a pauz. Z třiceti trendů vykazujících přibližně stejný vývoj i dobu provedení byl vybrán jeden, který je zobrazen v grafu č. 6.



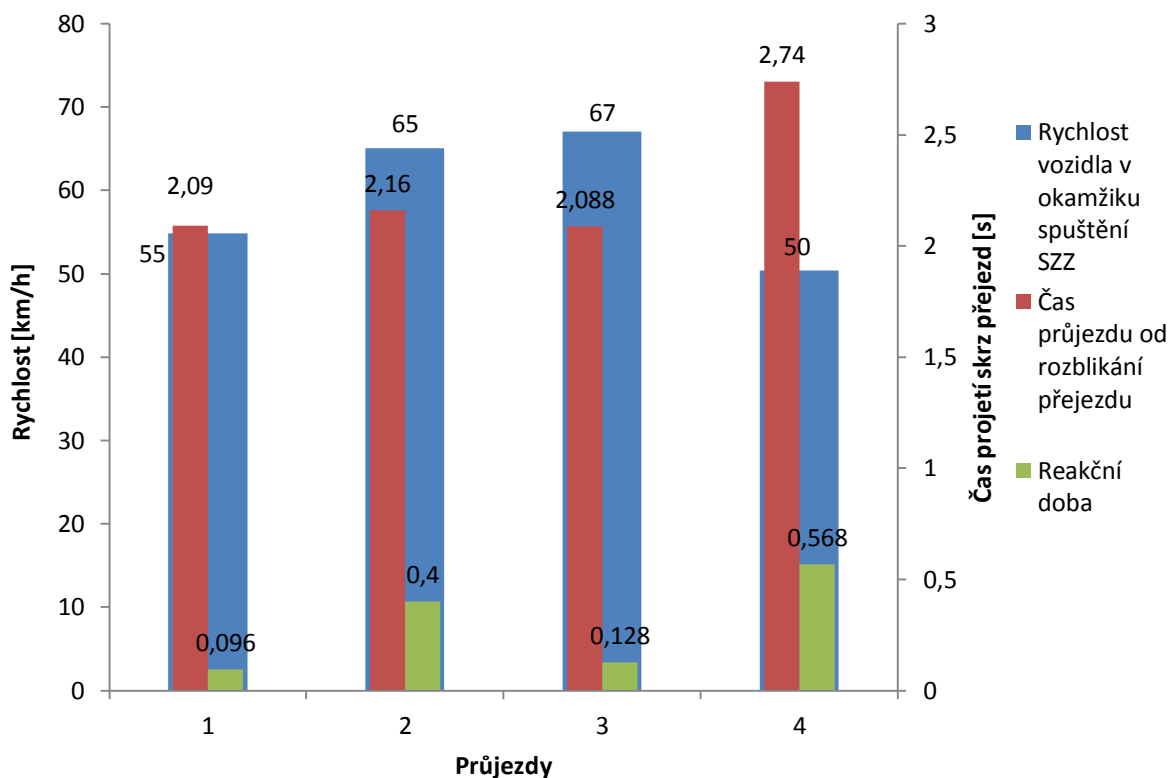
Graf č. 13 – Trend sešlápnutí brzdy zkušeného řidiče

Z grafu jsou jasně patrné výkyvy hodnot v od počátečního sešlápnutí až po maximální hodnotu. Tyto odchylky mají frekvenci výrazně vyšší, než člověk dokáže vytvořit, proto nepochází od probanda, ale od měřícího zařízení. Růst hodnoty brzdy nejlépe znázorňuje polynomičká spojnice trendu. Maximální hodnota brzdy činí 1000 a byla dosažena za 0,45 s. Tento čas i průběh stlačení pedálu ukazují na nutnost rychlého zabrzdění, které bylo provedeno efektivně.

Zbylé získané trendy, představující zbylých 40,96 %, vykazaly různé druhy brzdění například plynulé přibrzdování, kdy byl pedál stlačován v několika krocích s pauzami nebo pozvolné sešlápnutí do první třetiny chodu a následné prudké stisknutí či naopak. Tyto trendy nebyly zahrnuty do správného ani začátečnického charakteru sešlápnutí brzdy.

8.6 Průjezdy na signál stůj

Každý dobrovolník byl před spuštěním testovací tratě poučen o nutnosti dodržování silničních pravidel. Nehledě na toto upozornění mnozí probandi nedbali dodržování pravidel, jeli vyšší než maximální povolenou rychlostí, nerespektovali svislé dopravní značení a především projížděli přes železniční přejezd kmitavou červenou. Z celkového počtu 26 dobrovolníků jich 5 vjelo do uzavřeného tunelu a čtyři přes zavřený železniční přejezd. Tato četnost je vzhledem k celkovému počtu výrazná, činí pro železniční přejezd 15,4 % a pro tunel 19,2 %. Množství těchto excesů podmínilo analyzování řízení probandů v úsecích předcházejících těmto objektům. Širší poznání okolností vedoucích k průjezdu na signál „Stůj“ se zabývají následné grafy, první zobrazuje vjetí na uzavřený železniční přejezd, kde je zobrazena rychlost vozidla v okamžiku spuštění světelného zabezpečovacího zařízení, rychlost vozidla ve stejném momentě a reakční doba řidiče.



Graf č. 14 – Průjezd přes uzavřený železniční přejezd

Graf ukazuje srovnání zmíněných hodnot, z nich lze posoudit, zda by řidič dokázal zastavit, pokud by začal brzdit s maximálním účinkem. Simulátor dokáže brzdit se zpomalením až 10 m.s^{-2} , proto mohl i třetí řidič v pořadí zabrzdit před přejezdem vzhledem ke své rychlosti a reakční době. U čtvrtého řidiče byla naměřena dlouhá doba od uzavření přejezdu po projetí skrz něj. Jeho počáteční rychlost byla adekvátní k zastavení, ale rozhodl se projet a při tom zrychlovat. Závary doplňující signalizační zařízení přejezdu byli nastaveny na spuštění po dvou sekundách, proto zmíněný řidič těsně projížděl pod klesajícími závorami.

Podobné jednání se opakovalo u semaforu před přechodem pro chodce, ten byl umístěn na konci obce v přímém přehledném úseku. Chodci se kolem nikde nepohybovali. Řidiči zde projížděli hlavně na signál „Připrav se“, mnohdy ale na konci jeho trvání, které činí tři sekundy. Získané výsledky jsou výrazně ovlivněny umělou realitou, a proto je otázka, zda by takto reagovali řidiči v reálném provozu.

9 Diskuze nad výsledky

Reakční doba

Výsledky reakčních dob vypovídají o relativně malém souboru získaných reakcí. Patrné je to na okrajích intervalu hodnot, které se odchyľují od výsledků ostatních autorů. Střední hodnota vypovídá o dobře navozené virtuální realitě v simulátoru, protože dosažená hodnota je blízká střední hodnotě z jízdních zkoušek s reálnými vozidly. Kvantil 98 % procentní doby reakce značí, že pouze 2 % řidičů by reagovala pomaleji, i přes to je získaná doba reakce přibližně dvounásobná oproti výsledkům ostatních autorů.

Hodnoty reakční doby získané z jednotlivých situací ukázaly důležitost, se kterou probandi brzdili. Podle získaných výsledků bylo nejdůležitější včas zabrzdít před tunelem. Tento výsledek je veskrze pozitivní neboť nehody v tunelech vykazují největší ztráty na životech i majetku.

Charaktery brzdění i doba sešlápnutí brzdy se ukázaly dostatečné k zastavení vozidla před semaforem nebo zabezpečovacím zařízením přejezdu. V Získaných trendech se neprojevilo množství nevhodných brzdných reakcí, kdy řidič v kritické situaci sešlápně málo či pomalu brzdový pedál. Pro vysledování takového brzdění by bylo zapotřebí násobně většího počtu probandů.

Výsledky ukázaly, jak reakční doba souvisí s dobou sešlapování brzdy. Lze říci, že čím rychlejší je reakce, tím dříve je stlačen pedál brzdy. Pomalou reakci ale nelze spojit s dlouhou dobou sešlápnutí brzdy.

Na základě reakční doby a charakteru brzdění se nepotvrdila stanovená hypotéza ani potřeba asistenčních systémů korekce rychlosti a směru jízdy.

Excesy probandů

Překvapivým zjištěním se stalo množství průjezdů přes uzavřený železniční přejezd. Množství průjezdů na červenou dosáhlo 15 % ze všech jízd. Téměř všichni řidiči upravili rychlost tak, aby mohli bezpečně zastavit před přejezdem, ale někteří z nich se i přes viditelná kmitavá světla SZZ přejezdu rozhodli zrychlovat a projet jej. Obdobný přístup nebyl zjištěn v situaci s tunelem. Řidiči, kteří vjeli do tunelu na červenou, předem nesnížili rychlost. Buď vůbec nereagovali, nebo zrychlili. Pro zjištění, jestli bylo chování řidičů ovlivněno vědomím, že řídí simulátor, nebo zda jednali na základě aktuálního rozhodnutí by vyžadovalo zvláštní výzkum. Možností jak v reálném provozu odstranit tyto odchylky od chování je více, ale vždy budou zaměřeny buď na řidiče, nebo na vozidlo. Jedna z cest řešení, která je bližší současnému vývoji bezpečnosti, je zdokonalení asistenta rozpoznávání

značek. Asistent by sledoval světelné signály a dokázal zhodnotit situaci. V případě, že hrozí reálné nebezpečí, zabrzdil by vozidlo před světelným signalizačním zařízením. Jiný přístup řešení se skrývá ve výchově řidiče, kde by byl stanoven zvláštní důraz při výuce řízení motorových vozidel na správné chování v okolí železničních přejezdů a semaforů, včetně nacvičení situací s uvězněním mezi závorami přejezdu.

10 Závěr

Diplomová práce byla zaměřena na zjištění reakčních dob řidičů v kritických situacích. Cílem bylo potvrdit nebo vyvrátit hypotézu o nezpůsobilosti řidiče vlivem návyku na asistenční systémy vozidla. Teoretická část pojednává o reakční době řidiče, dále rozebírá faktory ovlivňující dobu reakce. Vzhledem ke kritickým situacím, do kterých se řidiči dostávají, jsou přiblížené asistenční systémy podílející se na zkrácení reakce řidiče.

V další části se práce zabývá metodami zjišťování reakčních dob řidičů. Důležitost včasné reakce se zvyšuje se stoupajícím vytížením komunikací především v oblastech měst. Mnoho lidí dojíždí denně za prací do města, vznikají kolony, zkracují se rozestupy mezi vozidly a v těchto okamžicích jsou pomalé reakce značně nebezpečné. Za účelem zkrácení doby reakce se používají asistenční systémy vozidla. Důležité systémy dokáží zasahovat do rychlosti i trajektorie vozidla. Problém nastane, pokud si řidič na asistenční systémy navykne a spoléhá na ně.

Výzkumná část se zabývá testováním řidičů na vozidlovém simulátoru za účelem zjištění reakčních dob při kritických situacích. Pro výzkum byla navržena trať zahrnující pět událostí, které nutily řidiče k reakci. Nejčastěji řidiči reagovali stisknutím pedálu brzdy.

Hypotéza, která byla stanovená na začátku výzkumu, nebyla potvrzena. Při výzkumu se ukázal zajímavý jev chování řidičů v oblasti před přejezdem železniční trati. Skupina řidičů čítající 15 % z celkového souboru se v okamžiku uzavření železničního přejezdu rozhodla zrychlovat a projet přes uzavřený přejezd.

11 Zdroje:

- [1] Tesla, Inc. A Tragic Loss. [online]. 2016-06-30, c2018 [vid. 2018-04-30]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/blog/tragic-loss>.
- [2] Daisuke Wakabayashi. Self-Driving Uber Car Kills Pedestrian in Arizona, Where Robots Roam. The New York Times. [online]. 2018-03-19, c2018 [vid. 2018-03-28]. Dostupné z: <https://www.nytimes.com/2018/03/19/technology/uber-driverless-fatality.html>.
- [3] Wikipedia. Pravidla silničního provozu. Cs.wikipedia.org. [online]. 2018, [vid. 2018-04-02]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Pravidla_silni%C4%8Dn%C3%ADho_provozu.
- [4] Antonín Foller. Zákon o silničním provozu č. 361/2000 Sb.. kurzy.cz. [online]. c2018 [vid. 2018-04-19]. Dostupné z: <https://zakony.kurzy.cz/361-2000-zakon-o-silnicnim-provozu/>.
- [5]. LAKOTA, Aleš. Sociální aspekty edukačního procesu v autoškolách [online]. Brno, 2013 [vid. 2018-04-22]. Dostupné z WWW: <https://digilib.k.utb.cz/handle/10563/20894>. Diplomová práce, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Libuše Mazánková.
- [6] ŠUCHA, Matúš, REHNOVÁ, Vlasta, KOŘÁN, Martin, ČERNOCHOVÁ, Dana. Dopravní psychologie pro praxi: Výběr, výcvik a rehabilitace řidičů. Praha: Grada Publishing, a.s., 2013. 216 s. ISBN 978-80-247-4113-0.
- [7] Policie ČR. Statistika nehodovosti. policie.cz [online]. c2018 [vid. 2018-04-22]. Dostupné z: <http://www.policie.cz/clanek/statistika-nehodovosti-900835.aspx>.
- [8] Ministerstvo dopravy ČR. Režim řidičů. mdcr.cz [online]. c2018 [vid. 2018-04-23]. Dostupné z: [https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Silnicni-doprava/Mezinarodni-autobusova-doprava-\(MAD\)/Rezim-ridicu](https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Silnicni-doprava/Mezinarodni-autobusova-doprava-(MAD)/Rezim-ridicu).
- [9] PLCH, Jiří. Reakční doba řidiče. [online]. 2010, [vid. 2018-04-10]. Dostupné z: http://docplayer.cz/10899230-Reakni-doba-ridice-jiri-plch-doc-ing-csc-jiri_plch-volny-cz.html.
- [10] VLK, František. Dynamika motorových vozidel. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000. ISBN 80-238-5273-6
- [11] Wikiskripta. Oko (biofyzika). Wikiskripta.eu [online]. 2009, 15. 2. 2018 [vid. 2018-04-16]. Dostupné z: [http://www.wikiskripta.eu/w/Oko_\(biofyzika\)](http://www.wikiskripta.eu/w/Oko_(biofyzika)).
- [12] ŠTRAUS, Jiří. Prodloužení reakční doby v závislosti na hladině alkoholu. [online]. c2018, [vid. 2018-04-13]. Dostupné z: www.mvcr.cz/soubor/straus-reakni-cas-clanek-pdf.aspx.

- [13] SEDLÁČEK, Jan. Vliv úpolového tréninku na rozvoj reakční rychlosti [online]. Brno, 2007 [vid. 2018-04-25]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/p4pyq/Diplomova_prace_Jan_Sedlacek.pdf. Diplomová práce, Masarykova Univerzita. Martin Zvonař.
- [14] Eckhardt, M. J., File, S. E., Gessa, G. L., Grant, K. A., Guerri, C., Hoffman, P. L. et al.. Effects of moderate alcohol consumption in the central nervous system. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, Bethesda, Maryland, USA: National Institute on Alcohol Abuse and Alcoholism, 1998. 998-1040.
- [15] Centrum dopravního výzkumu. Řízení pod vlivem alkoholu a drog. Repardo.cz [online] c2018, [vid. 2018-04-28]. Dostupné z: <https://www.repado.cz/projekt/rizeni-pod-vlivem-alkoholu-a-drog/>.
- [16] James, L., Nahl, D.. Dealing With Stress And Pressure In The Vehicle Taxonomy of Driving Behavior: Affective, Cognitive, Sensorimotor. [online]. Edmonton, Canada: University of Alberta Press, 2002, [vid. 2018-04-30]. Dostupné z: <http://www.drdriving.org/articles/taxonomy.htm>.
- [17] NEVŘELA, Martin. Pokročilé asistenční systémy (ADAS) ve vozidlech Škoda auto z pohledu řidičů [online]. Olomouc, 2016 [vid. 2018-05-01]. Dostupné z: https://theses.cz/id/f6drgh/Bezpenosnt_systmy_ADAS-_Bc._Martin_Nevela.pdf. Diplomová práce, Univerzita Palackého v Olomouci. Matúš Šucha.
- [18] Sdružení automobilového průmyslu. Složení vozového parku v ČR. Autosap.cz [online] 2015 [vid. 2018-04-02]. Dostupné z: <http://www.autosap.cz/zakladni-prehledy-a-udaje/slozeni-vozoveho-parku-v-cr/>.
- [19] VLK, František. Automobilová elektronika 1: Asistenční a informační systémy. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6462-3.
- [20] Autocentrum Jan Šmucler. ABS – Protiblokovací brzdový systém. smucler.cz [online] 2017 [vid. 2018-04-02]. Dostupné z: <https://www.smucler.cz/blog/abs-protiblokovaci-system-kol/>.
- [21] Automotive World. Basic function of ESP in the event of understeer. *Automotiveworld.com* [online] 2015 [vid. 2018-03-16]. Dostupné z: <https://www.automotiveworld.com/news-releases/first-series-production-application-march-1995-mercedes-benz-bold-idea-europe-wide-requirement-esp-reaches-20-years-saving-lives/>.

- [22] Autobytel. What is the lexus blind spot monitor. Autobytel.com [online] c2018 [vid. 2018-02-18]. Dostupné z: <https://img.autobytel.com/car-reviews/autobytel/122404-what-is-the-lexus-blind-spot-monitor/lexus-rx350-safety-active-safety-1-bg.jpg>.
- [23] Volvocars. Driver Alert Control (DAC)*. Volvocars.com [online] 2017 [vid. 2018-02-20]. Dostupné z: <https://support.volvocars.com/cz/cars/pages/owners-manual.aspx?mc=V423&my=2017&sw=16w17&category=1ecc3be8a7e748d0c0a801e80003fd2a&article=bde657a0f78c68d3c0a801e800111c9c>.
- [24] Volkswagen. Driver Alert Systém. Volkswagen.com [online] c2018 [vid. 2018-2-20]. Dostupné z: <http://www.volkswagen.co.uk/technology/car-saftey/driver-alert-system>.
- [25] Panasonic. Panasonic Develops Drowsiness-Control Technology by Detecting and Predicting Driver's Level of Drowsiness. Panasonic.com [online] 2017 [vid. 2018-02-22]. Dostupné z: <https://news.panasonic.com/global/press/data/2017/07/en170727-3/en170727-3.html>.
- [26] Bosch. Mid-range radar sensor (MRR). Bosch-mobility-solutions.com [online] c 2018 [vid. 2018-03-02]. Dostupné z: [https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/driver-assistance-systems/predictive-emergency-braking-system/mid-range-radar-sensor-\(mrr\)/](https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/driver-assistance-systems/predictive-emergency-braking-system/mid-range-radar-sensor-(mrr)/).
- [27] Ziff Davis. What is adaptive cruise control, and how does it work. Extremetech.com [online] 2013 [vid. 2018-03-05]. Dostupné z: <https://www.extremetech.com/extreme/157172-what-is-adaptive-cruise-control-and-how-does-it-work/2>.
- [28] Wikipedia. Head-up display. Wikipedia.org [online] 2018 [vid. 2018-03-05]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Head-up_display.
- [29] Autoliv. Vision Systems. Autoliv.com [online] c2018 [vid. 2018-03-07]. Dostupné z: <https://www.autoliv.com/products/electronics/vision-systems>.
- [30] Safelite Group. What is night vision? Does my car have night vision systems? Safelite.com [online] c2018 [vid. 2018-03-08]. Dostupné z: <https://www.safelite.com/windshield-auto-glass-technology/night-vision>.
- [31] Autocentrum Jan Šmucler. Front Assist - Automatické nouzové brzdění. Smucler.cz [online] 2016 [vid. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://www.smucler.cz/blog/front-assist-automaticke-nouzove-brzdeni/>.

- [32] Ministerstvo životního prostředí. Evropská hospodářská komise OSN (EHK OSN). Mzp.cz [online] c2018 [vid. 2018-03-26]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/evropska_hospodarska_komise_osn_unece.
- [33] HYKŠ, Martin. Detekce překážek u systémů aktivní a integrované bezpečnosti. [online]. Praha 2014 [vid. 2018-03-27]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/63773/F6-DP-2014-Hyks-Martin-Hyks-DP-final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Diplomová práce, České vysoké učení technické v Praze. Václav Jírovský.
- [34] KAPLÁNEK, Aleš. Analýza reakcí řidičů na složené podněty. [online] Brno 2010 [vid. 2018-03-28]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=25915. Dizertační práce, Vysoké učení technické v Brně. Zdeněk Kolíbal.
- [35] RÁBEK, Vlastimil. Vnímání a rozhodování účastníků silničního provozu – denní doba: sborník tuzemských a převzatých cizojazyčných publikací. Olomouc: Properus s.r.o., 2014. ISBN: 978-80-904944-2-8.
- [36] PTÁČEK, Petr. Možnosti využití řídičských trenažérů ke znaleckému zkoumání chování řidičů pro účely analýzy silničních nehod. [online] Brno 2001 [vid. 2018-04-01]. Dostupné z: <http://www.vutium.vutbr.cz/tituly/pdf/ukazka/80-214-1956-3.pdf>. Dizertační práce, Vysoké učení technické v Brně. Albert Bradáč.
- [37] HUGEMANN, Wolfgang. Driver Reaction Times in Road Traffic. [online] Portorož, Slovenija 2002 [vid. 2018-04-30]. Dostupné z: http://www.calculamus.de/pdf/evu_2002_reaction_english.pdf.
- [38] BRADÁČ, A., a kol.: Příručka znalce – analytika silničních nehod. I. a II. díl. DT Ostrava: ČSVTS (Účelový náklad pro MSp ČSR), 1985.
- [39] M+K psychology s.r.o.. Ambulancia klineckej a dopravnej psychologie. Mkpsychology.sk. [online] c2017 [vid. 2018-04-17]. Dostupné z: <http://www.mkpsychology.sk/?services=coaching>.
- [40] Driving Simulation Research Group. Simulator systems. Dsrgeu [online] c2010 [vid. 2018-02-28]. Dostupné z: <http://continental-head-up-display.com/combiner-hud/>.

- [41] Daniel V. McGehee, Elizabeth N. Mazzae, G.H, Scott Baldwin. Driver Reaction Time in Crash Avoidance Research: Validation of a Driving Simulator Study on a Test Track. [online] 2000 [vid. 2018-05-03]. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/154193120004402026>.
- [42] Iowa Public Radio. Eastern Iowa Becomes a Proving Ground for Driverless Vehicles. iowapublicradio.org. [online] 2017 [vid. 2018-05-03]. Dostupné z: <http://iowapublicradio.org/post/eastern-iowa-becomes-proving-ground-driverless-vehicles>.
- [43] Brown, Danielle. A Comparison of Drivers' Braking Responses across Ages. [online] 2012 [vid. 2018-05-01]. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/154193120004402026>. Dizertační práce, East Carolina University. Anne E. Dickerson.

Seznam obrázků

Obr. č. 1	Blokové schéma interakce řidič-vozidlo
Obr. č. 2	Řez okem
Obr. č. 3	Brzdění se změnou směru jízdy vozidla vybaveného ABS, bez něj (šedé)
Obr. č. 4	Srovnání vozidla vybaveného ESP a bez něj
Obr. č. 5	Schéma nepřímého výhledu řidiče
Obr. č. 6	Asistent hlídání mrtvého úhlu automobilky Lexus
Obr. č. 7	Odlišná trajektorie jízdy vozidla vůči silnici – ospalý řidič
Obr. č. 8	Schéma dosahu jednotlivých čidel systému ACC dual radar Mercedes-Benz S-class 2008
Obr. č. 9	Zobrazení přenosu virtuálního obrazu na čelní sklo
Obr. č. 10	Měření reakční doby pomocí dvou vozidel
Obr. č. 11	Přístroj Schuhfried VTS pro měření psychické způsobilosti řidičů s odebraným oprávněním
Obr. č. 12	Plnohodnotný vozidlový simulátor
Obr. č. 13	Vozidlový simulátor Univerzity Iowa
Obr. č. 14	Upravený vozidlový trenažér AT – 97 VRT
Obr. č. 15	Simulátor WT-2000 využitý pro výzkum
Obr. č. 16	Simulátor použitý k vlastnímu experimentu

Seznam tabulek

Tab. č. 1	Vyhodnocení výsledků Hugemannem
Tab. č. 2	Rozpětí dob trvání reakce a prodlevy brzd
Tab. č. 3	Porovnání naměřených reakčních dob
Tab. č. 4	Reakční doby získané Ptáčkem
Tab. č. 5	Naměřené reakce výzkumu Brownové
Tab. č. 6	Hodnoty reakčních dob získané experimentem
Tab. č. 7	Hodnoty reakčních dob jednotlivých událostí
Tab. č. 8	Doby svalové reakce při brzdění
Tab. č. 9	Doby svalové reakce při rozjezdu
Tab. č. 10	Hodnoty doby sešlápnutí brzdy pro významné kvantily

Seznam grafů

Graf č. 1	Nejzávažnější příčiny nehod zaviněných řidiči nákladních vozidel v roce 2016
Graf č. 2	Nejzávažnější příčiny nehod zaviněných řidiči osobních automobilů v roce 2016
Graf č. 3	Reakce řidiče, vývoj brzdění vozidla
Graf č. 4	Kumulativních četnosti reakčních dob vyvolaných figurínou
Graf č. 5	Zastoupení reakčních dob, Přírůstkové procentuální zobrazení variací reakčních dob
Graf č. 6	Porovnání naměřených reakčních dob
Graf č. 7	Zastoupení reakčních dob
Graf č. 8	Přírůstkové zastoupení reakčních dob
Graf č. 9	Průměrná reakční doba každé události
Graf č. 10	Srovnání RD s přesunem nohy a bez něj
Graf č. 11	Průměrná doba stlačení brzdového pedálu v každé události
Graf č. 12	Trend sešlápnutí brzdy „začátečníka“
Graf č. 13	Trend sešlápnutí brzdy zkušeného řidiče
Graf č. 14	Průjezd přes uzavřený železniční přejezd