

UNIVERZITA PARDUBICE

Dopravní fakulta Jana Pernera

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2021

Bc. Luboš Vrábel

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

VLIV VELIKOSTI AKTIVNÍ PLOCHY BRZDOVÉHO SVĚTLA
NA REAKČNÍ DOBU ŘIDIČE

Diplomová práce

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Luboš Vrábel**
Osobní číslo: **D19470**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**
Téma práce: **Vliv velikosti aktivní plochy brzdového světla na reakční dobu řidiče**
Zadávající katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Zásady pro vypracování

Cílem práce bude objektivně určit, jak se změní reakční doba řidiče v závislosti na velikosti aktivní plochy brzdového světla u vozidla jedoucího před ním. Autor práce bude postupovat podle stanovené osnovy, a to dle svých vědeckých možností. Současně bude získané výsledky konzultovat s vedoucím práce tak, aby byly splněny cíle práce.

1. Úvod
2. Rozbor současného stavu legislativy a existujících řešení
3. Stanovení podmínek měřicího systému a určení reálných situací, při kterých bude měření realizováno
4. Experimentální ověření rozdílů reakční doby řidiče dle stanovených situací a podmínek
5. Vyhodnocení získaných dat
6. Závěr

Rozsah pracovní zprávy: **50 stran**
Rozsah grafických prací: **podle pokynů vedoucího práce**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] ČERNÝ, J.: *Sověta a osvětlení silničních vozidel*. Praha: Nadatur, 1995. ISBN 80-85884-18-6.
[2] VLK, F.: *Elektrická zařízení motorových vozidel: [palubní síť, baterie, alternátory, startéry, zapalování, osvětlení]*. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2005. ISBN 80-239-3718-9.
[3] BRADÁČ, A.: *Soudní inženýrství*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1997. ISBN 80-7204-057-X.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Jilek, Ph.D.**
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání diplomové práce: **15. února 2021**
Termín odevzdání diplomové práce: **17. května 2021**

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

Ing. Jakub Vágner, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. února 2021

Prohlašuji:

Práci s názvem „*Vliv velikosti aktivní plochy brzdového světla na reakční dobu řidiče*“ jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

Tato diplomová práce byla realizována s využitím technologií Výukového a výzkumného centra v dopravě.

V Pardubicích dne 14.05.2021

Luboš Vrábel v.r.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě chci poděkovat vedoucímu diplomové práce panu Ing. Petrovi Jilkovi, Ph.D., za odborné vedení, věcné rady a připomínky, které mi pomáhaly při vypracování této práce, také za věnovaný čas při realizaci experimentu. Poděkování patří také rodině, kamarádům, kolegům a všem, kteří se podíleli na experimentálním měření. V neposlední řadě také děkuji své rodině za podporu při studiu na vysoké škole.

ANOTACE

Práce je zaměřena na ověření vlivu velikosti aktivní plochy brzdových světel na reakční dobu řidiče silničního vozidla za stanovených reálných situací a je rozdělena na dvě části. První teoretická část se zabývá vývojem zadního osvětlení vozidel a legislativou týkající se brzdových a obrysových světel včetně existujících současných řešení. Dále je popsáno zrakové vnímání a reakční doba řidiče včetně vybraných faktorů ovlivňujících reakční dobu řidiče.

Druhá část práce se věnuje experimentálnímu měření rozdílu reakční doby řidiče vzhledem k velikosti aktivní plochy brzdových světel. Reakční doba je měřena pro dvě velikosti aktivních ploch brzdových světel, přičemž jsou stanoveny dvě podmínky: přímý pohled a odklon pohledu. Výsledky měření jsou následně porovnány a vyhodnoceny. Cílem práce je základní experimentální ověření do jaké míry ovlivňuje velikost aktivní plochy brzdového světla reakční dobu řidiče.

KLÍČOVÁ SLOVA

řidič, vozidlo, aktivní plocha brzdového světla, reakční doba, optický podnět

TITLE

The influence of active break light size on driver's reaction time

ANNOTATION

The theses is focused on the influence verification of the break lights' active surface on the vehicle driver's reaction time under stating real situations. It is divided into two parts. The first theoretic part describes the vehicle rear light development and the legislation concerning break and contour lights including existing contemporary solutions. Further there are described sight perception and a driver's reaction time including representative influencing factors with the impact on the driver's reaction time.

The second part is dedicated to the experimental measurement of the driver's reaction time difference related to the size of break lights' active surface. The reaction time is measured for two sizes of break lights' active surface where two conditions are given: straight look and look diversion. The measurement results are afterwards compared and assessed. The objective of the theses is to verify experimentally the scope of break lights' active surface size impact on the driver's reaction time.

KEYWORDS

driver, vehicle, active surface of breaking light, reaction time, optical impulse

OBSAH

ÚVOD	15
1 VÝVOJ ZADNÍCH SVÍTILEN SILNIČNÍCH VOZIDEL	16
1.1 Historie	16
1.2 Současnost	16
2 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU LEGISLATIVY A EXISTUJÍCÍCH ŘEŠENÍ	19
2.1 Předpisy pro zadní brzdové svítilny	19
2.2 Zadní obrysové svítilny	20
2.3 Brzdové svítilny	22
2.4 Vysoko umístěná brzdová svítilna	23
2.5 Konstrukční řešení zadního osvětlení silničních vozidel	25
3 ZRAKOVÉ VNÍMÁNÍ	27
3.1 Proces vnímání	27
3.2 Vybrané části lidského oka	27
3.3 Rozlišovací schopnosti lidského oka	29
3.4 Optické klamy	33
3.5 Oční vady [21].....	34
4 REAKČNÍ DOBA	36
4.1 Analýza rozdělení okamžiků nehodového děje [32]	36
4.2 Optická reakce	37
4.3 Psychická reakce	37
4.4 Svalová reakce	37
4.5 Jízda v noci.....	38
4.6 Vybrané rizikové faktory	39
4.7 Vybrané asistenční systémy	40
5 STANOVENÍ PODMÍNEK MĚŘICÍHO SYSTÉMU A URČENÍ REÁLNÝCH SITUACÍ, PŘI KTERÝCH BUDE MĚŘENÍ REALIZOVÁNO	43
5.1 Formulace problému	43
5.2 Definování měřených veličin	44
5.3 Podmínky měřicího systému	45
5.4 Stanovení reálných situací.....	51
5.5 Ověření zapojení měřicí soustavy	54
6 EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ ROZDÍLU REAKČNÍ DOBY ŘIDIČE DLE STANOVENÝCH SITUACÍ A PODMÍNEK	56
6.1 Metodika experimentu	56

6.2	Varianty experimentu.....	56
6.3	Kalibrace měřicí soustavy a nejistoty měření	57
6.4	Postup při sběru a vyhodnocení naměřených dat.....	59
6.5	Průběh měření	60
6.6	Výsledky měření	60
7	VYHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH DAT.....	62
7.1	Vyhodnocení reakční doby řidiče	62
7.2	Vyhodnocení Rozdílu reakční doby řidiče Δt	63
7.3	Vyhodnocení možného vzniku dopravní nehody.....	64
8	DISKUZE ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ	68
	ZÁVĚR	71
	POUŽITÁ LITERATURA.....	73

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obrázek 1: Milníky ve vývoji zadní svítilny [1].....	17
Obrázek 2: Zadní svítilny vozidla Audi Q5 [2]	17
Obrázek 3: Zadní obrysové svítilny – montážní vzdálenosti [8]	21
Obrázek 4: Brzdové svítilny – montážní vzdálenosti [8]	23
Obrázek 5: Vysoko umístěná brzdová svítilna – montážní vzdálenosti [8]	24
Obrázek 6: Zadní průběžná obrysová svítilna Audi RS e-tron GT [9].....	25
Obrázek 7: Změna grafiky zadního osvětlení od výrobce Volkswagen [10]	26
Obrázek 8: Lidské oko [13]	29
Obrázek 9: Zorné pole člověka [14]	30
Obrázek 10: Spektrální citlivost čípků v závislosti na vlnové délce [13].....	31
Obrázek 11: Zadní svítilna – odraz slunečních paprsků.....	33
Obrázek 12: Měřicí soustava – jednotlivé části	45
Obrázek 13: Samostatné světelné okruhy	46
Obrázek 14: Zapojení měřicí soustavy – vozidlo vysílající optické podněty	46
Obrázek 15: Zapojení měřicí soustavy – vozidlo s měřenou osobou	47
Obrázek 16: Standardní plocha a Zvětšená plocha brzdových světel.....	48
Obrázek 17: Nákres situace místa měření upraveno autorem [43].....	50
Obrázek 18: Umístění mobilního telefonu s ukázkou „běžících“ symbolů.....	53
Obrázek 19: Poloha vozidel a měření s odklonem pohledu.....	53
Obrázek 20: Ukázka testu výpisu Serial Monitoru	55
Obrázek 21: Graf – reakční doba řidiče t_R při přímém pohledu	62
Obrázek 22: Graf – Reakční doba řidiče t_R při odklonu pohledu	63
Obrázek 23: Graf – Rozdíl reakční doby při odklonu pohledu dle skupin osob	64
Obrázek 24: Graf – Nereagování na podnět při odklonu pohledu dle měřených osob.....	65
Obrázek 25: Graf – Nereagování na podnět při odklonu pohledu dle skupin osob.....	65
Obrázek 26: Graf - Neodvrácení nehody při odklonu pohledu dle osob	66
Obrázek 27: Graf – Neodvrácení nehody při odklonu pohledu dle skupin osob.....	66
Obrázek 28: Graf – Neodvrácení nehody při odklonu pohledu a poruše osvětlení.....	67

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Limity svítivosti.....	20
Tabulka 2: Zadní obrysové svítilny – parametry [5]	20
Tabulka 3: Brzdové svítilny – parametry [5].....	22
Tabulka 4: Vysoko umístěná brzdová svítilna – parametry [5].....	23
Tabulka 5: Přehled úseků reakční doby [24]	38
Tabulka 6: Reakční doba řidiče – skotopické vidění [14]	39
Tabulka 7: Technické parametry vozidel.....	48
Tabulka 8: Přehled měřených osob.....	51
Tabulka 9: Přehled a popis variant experimentů	57
Tabulka 10: Přehled průměrných reakčních dob t_R jednotlivých osob.....	61
Tabulka 11: Přehled rozdílů reakčních dob Δt v závislosti na velikosti aktivní plochy	61

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

ACC	Adaptive Cruise Control
BLIS	Blind Spot Information System
BMW	značka výrobce vozidel
BSM	Blind Spot Monitor
CAS	Collision Avoidance Systems
CWS	Collision Warning Systems
„D“	Samostatné nezávislé brzdové svítily nebo souprava těchto svítlen
EHK/OSN	Evropská hospodářská komise Organizace spojených národů
LED	Light-Emitting Diode
M1, M2, M3	Motorová vozidla určená pro dopravu osob a jejich zavazadel
N1, N2, N3	Motorová vozidla určená pro dopravu nákladů
O2, O3, O4	Přípojná vozidla určená pro dopravu nákladů, osob i ubytování osob
OLED	Organic light-emitting diode
R, R1	Zadní obrysová svítlna produkující konstantní svítivost
R2	Zadní obrysová svítlna produkující proměnnou svítivost
RJ-45	Konektor pro zapojení UTP kabelů
S1	Brzdová svítlna produkující konstantní svítivost
S2	Brzdová svítlna produkující proměnnou svítivost
S3	Vysoko umístěná brzdová svítlna produkující konstantní svítivost
S4	Vysoko umístěná brzdová svítlna produkující proměnnou svítivost
SMS	Short message service
USB	Universal Serial Bus
UTP	Unshielded twisted pair
VVCD	Výukové a výzkumné centrum v dopravě
k_t	[-] Kalibrační konstanta
Δt	[s] Rozdíl reakčních doba řidiče při různé velikosti aktivní plochy
t_{MJ}	[s] Časový úsek dle Měřicí jednotky
t_R	[s] Reakční doba řidiče

t_{RS}	[s]	Reakční doba na <i>Standardní plochu</i> brzdového světla
t_{RZ}	[s]	Reakční doba na <i>Zvětšenou plochu</i> brzdového světla
t_{Synch}	[s]	Časový úsek dle synchronizovaného času v notebooku.
t_Z	[s]	Zpoždění měřicí soustavy

TERMINOLOGIE

Aktivní plocha brzdového světla: část plochy brzdové svítilny, přes kterou vystupuje brzdové světlo.

Kontrast: rozdíl jasů světlých a tmavých částí pozorovaného objektu.

Rovina H: horizontální rovina procházející vztažným středem svítilny. [5]

Svítivost: je základní světelnou veličinou. Jedná se o hustotu světelné energie, vyzařované do určitého směru. Jednotkou svítivosti je kandela.

Úhly geometrické viditelnosti: úhly, které určují oblast minimálního prostorového úhlu, v níž musí být viditelná přivrácená plocha světlometu nebo svítilny. [5]

Vztažná osa: jedná se o charakteristickou osu světlometu nebo svítilny, určenou výrobcem (světlometu nebo svítilny) pro použití jako vztažný směr (Horizontální = 0° , Vertikální = 0°) pro úhly pole při fotometrických měřeních a pro montáž světlometu nebo svítilny na vozidlo [5]

Vztažný střed: průsečík vztažné osy s vnějším povrchem plochy výstupu světla, stanovuje jej výrobce svítilny. [5]

ÚVOD

S nástupem nových technologií se stalo trendem u většiny výrobců automobilů vytvořit pomocí zadních svítilen jednoznačně rozpoznatelné identifikátory své vlastní značky vozidel a v některých případech dokonce i konkrétního modelu vozidla. V současném provozu si lze povšimnout, že kromě různých tvarů zadní obrysové svítilny je velikost její aktivní plochy mnohdy několikanásobně větší než v případě brzdových svítilen. Při současné vysoké hustotě provozu se stávají zadní obrysová světla trvalým podnětem v zorném poli řidiče. Součástí zadního osvětlení vozidla jsou brzdová světla, která nesvítí trvale, avšak signalizují, že řidič z nějakého důvodu použil brzdy. Tento signál by měl být jednoznačný a nepřehlédnutelný. Současná vozidla s moderními systémy vyvolávají pocit jistoty z jízdy a někteří řidiči věří, že jsou schopni provozovat takové vozidlo i za hranici fyzických možností pro bezpečnou jízdu. Jedním z nejčastějších přestupků je nedodržení bezpečné vzdálenosti mezi dvěma vozidly, kdy následky takového jednání mohou být tragické. Vzhledem k nízkému rozšíření moderních asistenčních systémů, zvyšující se rychlosti vozidel a hustotě provozu se i při dodržení bezpečné vzdálenosti stává řízení vozidel čím dál tím náročnější činností, proto spatřuji vysokou důležitost ve včasném a přesném rozpoznání situace před vozidlem.

Tato práce navazuje na mou bakalářskou práci s názvem „*Určení reakční doby řidiče silničního vozidla na změnu situace před vozidlem*“, kde jsem experimentálně změřil a vyhodnotil vliv rozdílného zdroje světla na reakční dobu řidiče. První teoretická část této diplomové práce stručně shrnuje vývoj zadního osvětlení silničních vozidel. Dále je rozebrána současná legislativa a existující řešení brzdových svítilen. Je popsána problematika reakční doby řidiče související oblasti, tedy vnímání lidského oka, faktory a systémy ovlivňující reakční dobu řidiče. Hlavní zaměření této práce je obsaženo v druhé části, kde je popsána měřicí soustava a jsou zvoleny reálné situace, při kterých bylo měření realizováno. Zároveň je stanovena metodika měření a vyhodnocení experimentu. Cílem této práce je experimentálně změřit a zhodnotit, do jaké míry velikost aktivní plochy brzdového světla ovlivňuje reakční dobu řidiče a tím zprostředkovaně bezpečnost silničního provozu.

1 VÝVOJ ZADNÍCH SVÍTEL SILNIČNÍCH VOZIDEL

1.1 Historie

Považovaný počátek automobilové historie je datován dnem 29. ledna 1886, kdy Karl Benz požádal o patent na svůj automobil. Jednalo se o tříkolku, která k pohonu používala výhradně spalovací motor. V této době bylo běžné, že automobil neměl žádné osvětlení. Jízdní záměry řidičů se signalizovaly pohybem ruky nebo se využívalo zvukových signálů. Tento způsob byl značně nespolehlivý hlavně při zhoršených meteorologických podmínkách či v noci.

Vlastnosti světla, kterými jsou jeho rychlost šíření a výborná viditelnost, byly důvodem, proč se začalo světlo využívat k předávání signálů ostatním účastníkům silničního provozu. Z počátku převažoval požadavek na potřebu vidět, proto bylo na vozidla instalováno jako první přední osvětlení. Potřeba být viděn, tedy instalace i zadního osvětlení vozidla, byla řešena až později.

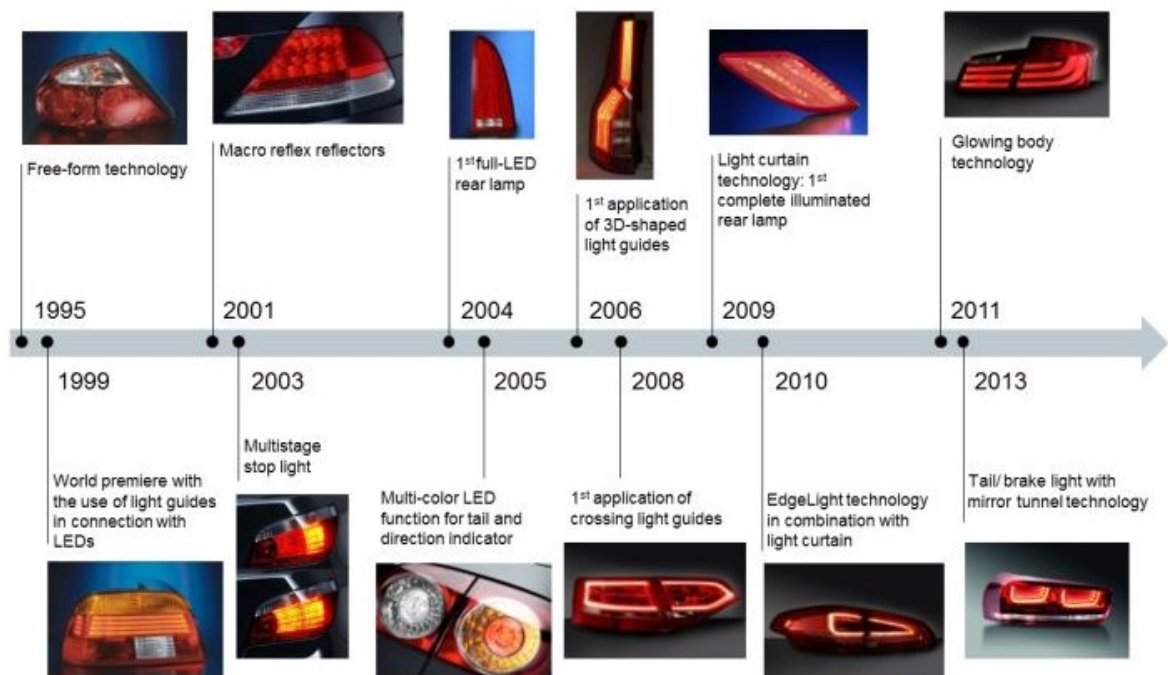
Pro zadní osvětlení vozidla bylo nejdříve použito pouze osvětlení, které signalizovalo přítomnost vozidla na vozovce. Použitý světelný zdroj se postupně vyvíjel od lamp se svíčkou přes petrolejové a acetylenové lampy. Na počátku 20. století se pozvolna začalo prosazovat používání elektrických lamp.

Milníkem v zadním osvětlení vozidla bylo použití první brzdové svítilny, která se objevila roku 1916. Tímto došlo k zásadní změně v informačních signálech směřujících ze zadní části vozidla směrem k vozidlům jedoucím za tímto vozidlem. K původnímu signálu, který trvalým světlem červené barvy signalizoval přítomnost vozidla na vozovce, se připojil signál, který svítil také červeným světlem, avšak pouze v okamžiku sešlápnutí brzdového pedálu. Tímto signálem byl informován řidič vzadu jedoucího vozidla o použití brzd vozidla jedoucího vpředu. Řidič vzadu jedoucího vozidla tedy dokázal rozpoznat, zda vozidlo jedoucí před ním pokračovalo v jízdě, či začalo na základě potřeby řidiče aktivně zpomalovat. Další informací, kterou mohl řidič vozidla získat z rozsvícených brzdových světel, byla reakce na případné nebezpečí, které na rozdíl od řidiče jedoucího vpředu ještě neviděl.

1.2 Současnost

Obrázek 1 popisuje vývoj osvětlení zadní části vozidla od roku 1995. Z obrázku je patrné, že zadní osvětlení prošlo v průběhu posledních let zásadním vývojem. S nástupem nových technologií LED a OLED popsanych ve výše uvedené bakalářské práci v kapitole 1.5, bylo designerům umožněno navrhovat zadní svítilny různých tvarů a velikostí. Tohoto využívá

většina výrobců automobilů jako již zmíněných identifikátorů pro jednoznačné rozpoznání jejich značky. Toto je mnohdy viditelné i na velmi velkou vzdálenost.



Obrázek 1: Milníky ve vývoji zadní svítilny [1]

Například výrobce vozidel Audi postoupil ve vývoji zadního osvětlení na úroveň, kdy rozlišuje jednotlivé modely své značky tak, že každý model má svou vlastní grafiku zadního osvětlení. Zároveň se tímto krokem snaží nabídnout jistou jedinečnost kupovaného vozu tím, že nabízí možnost zvolit si typ grafického zobrazení a animaci zadního osvětlení dle přání zákazníka. [2]



Obrázek 2: Zadní svítilny vozidla Audi Q5 [2]

V současném silničním provozu si lze všimnout trendu, kdy jsou vývojově i designově upřednostněna zadní obrysová světla oproti brzdovým světlům. S technologiemi LED nebo OLED mohou výrobci navrhovat různé tvary a velikosti, které v některých případech rostou s každou novou generací nebo faceliftem vozidla. Záměr designérů je pochopitelný; zadní obrysová světla jsou při snížených světelných podmínkách trvale rozsvícena a lze toho využít jako designérský prvek nebo již zmíněný identifikátor značky. Jsou však situace, kdy je tato

snaha výrobců spíše kontraproduktivní. Pro řidiče jedoucího v noci nebo stojícího v koloně za vozidlem s výrazně velkými zadními obrysovými světly může být taková jízda obtěžující nebo rozptylující. Pro mnohé řidiče může být dlouhodobý pohled do těchto světel nepříjemný a mnohdy až bolestivý, a to z důvodu velké intenzity světla vycházejícího z moderních LED nebo OLED zdrojů.

2 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU LEGISLATIVY A EXISTUJÍCÍCH ŘEŠENÍ

Na pozemních komunikacích lze provozovat pouze vozidla technicky způsobilá k provozu. Technickou nezpůsobilost vozidel obecně upravuje § 37 zákona č. 56/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Přesný výčet závad vozidla, které ohrožují bezpečnost silničního provozu, vymezuje § 40 vyhlášky č. 341/2014 Sb., ve znění pozdějších předpisů. V případě zadní sdružené svítilny se jedná hlavně o tyto závady:

- nesvítili-li brzdové nebo zadní obrysové světlo alespoň na straně přivrácené do středu vozovky,
- jsou-li dodatečně namontovány nebo upraveny svítilny svítící dozadu nepřerušovaně světlem jiné barvy než červené,
- jsou-li chybně zapojeny svítilny nebo chybně propojeny svítilny tažného vozidla a přípojného vozidla.

V případě zjištění těchto závad, které ohrožují bezpečnost silničního provozu, nesmí být takové vozidlo užito v provozu na pozemních komunikacích s výjimkou nouzového dojetí.

2.1 Předpisy pro zadní brzdové svítilny

Mezi základní předpisy řadíme tyto:

- Předpis EHK/OSN č. 48 – Jednotná ustanovení pro schvalování typu vozidel z hlediska montáže zařízení pro osvětlení a světelnou signalizaci.
- Předpis EHK/OSN č. 7 – Jednotná ustanovení pro schvalování předních a zadních obrysových svítilen, brzdových svítilen a doplňkových obrysových svítilen motorových vozidel (kromě motocyklů) a jejich přípojných vozidel.
- Předpis EHK/OSN č. 37 – Jednotná ustanovení pro schvalování žárovek určených k použití ve schválených celcích svítilen/svĕtlometů motorových vozidel a jejich přípojných vozidel.

Svítivost vyzařovaného světla

Dle předpisu EHK/OSN č. 7 odst. 6.1, ve znění pozdějších předpisů je stanoveno, že světlo vyzařované každým z obou dodaných zařízení ve směru vztažné osy nesmí mít svítivost menší než minimální svítivost a větší než maximální svítivost, viz Tabulka 1.

Tabulka 1: Limity svítivosti

Odstavec předpisu č.7 EHK/OSN	Popis	Maximální svítivost [cd]	Maximální hodnoty dle užití [cd]	
			Jednotlivá svítilna	Svítilna označená „D“
6.1.3 Zadní obrysové svítilny, zadní doplňková obrysová svítilna				
6.1.3.1	R nebo R1	4	17	8,5
6.1.3.2	R2	4	42	21
6.1.4 Brzdové svítilny				
6.1.4.1	S1	60	260	130
6.1.4.2	S2	60	730	365
6.1.4.3	S3	25	110	55
6.1.4.4	S4	25	160	80

Dle předpisu EHK OSN č. 48 Dodatek 47 odst. 5.10, ve znění pozdějších předpisů pro zadní obrysové a brzdové svítilny dále platí: Žádné červené světlo, které by mohlo vést k omylu, nesmí být vyzařováno svítilnou směrem dopředu. Toto se nevztahuje na zařízení pro osvětlení namontovaná uvnitř vozidla. K ověření pochybností je předpisem stanovené pásmo, ze kterého se ověřuje viditelnost či neviditelnost výše uvedeného červeného světla.

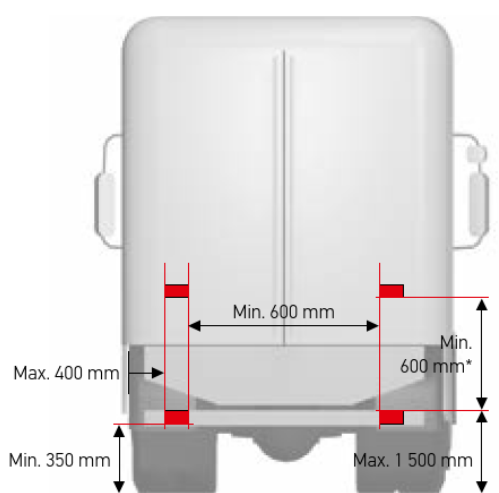
2.2 Zadní obrysové svítilny

Hlavní parametry zadních obrysových svítílen dle předpisu EHK/OSN č. 48, ve znění pozdějších předpisů viz Tabulka 2.

Tabulka 2: Zadní obrysové svítilny – parametry [5]

odst. 6.10.1	Přítomnost na vozidle	Zařízení kategorie R, R1 nebo R2 jsou povinné pro všechny kategorie motorových vozidel.
odst. 6.10.2	Počet	2 ks. Dále jsou povoleny dvě nepovinné obrysové svítilny u vozidel kategorie M2, M3, N2, N3, O2, O3 a O4 (pokud nejsou namontovány doplňkové obrysové svítilny)
odst. 6.10.3	Uspořádání	Žádné zvláštní požadavky.
odst. 5.15	Barva	Červená.
odst. 6.10.4.1	Umístění (šířka)	Max. 400 mm od vnějšího bodu šířky vozidla. Nevztahuje se na nepovinné zadní svítilny. U vozidel kategorie M1 a N1 vzdálenost mezi vnitřními okraji obou viditelných ploch není stanovena. U všech ostatních kategorií vozidel min. 600 mm mezi oběma zadními obrysovými svítílnami, u vozidel s šířkou do 1 300 mm min. 400 mm.

odst. 6.10.4.2	Umístění (výška)	Od 350 mm do 1 500 mm nad vozovkou (2 100 mm, ale pouze pokud tvar karoserie vozidla nedovoluje dodržet výšku 1 500 mm a nejsou namontovány nepovinné svítily). Umístění nepovinných zadních obrysových svítilen min. 600 mm nad povinnými zadními obrysovými svítilnami.
odst. 6.10.4.3	Umístění (délka)	Na zadní části vozidla.
odst. 6.10.5	Úhly geometrické viditelnosti	Vodorovný úhel 45° dovnitř a 80° ven. Při umístění svítilny do 750 mm lze vnitřní úhel 45° snížit na 20° pod rovinu H. Svislý úhel $\pm 15^\circ$ vzhledem k vodorovné rovině. Při umístění svítilny do 750 mm lze sestupný úhel snížit na 5°. V případě nepovinných zadních obrysových svítilen umístěných ve výšce 2 100 mm lze vzestupný úhel snížit na 5°.
odst. 6.10.6	Orientace	Směrem dozadu.
odst. 6.10.7	Elektrické zapojení	Musí být provedeno tak, aby bylo možné přední, zadní a boční obrysové svítilny se svítilnou k osvětlení zadní registrační značky zapínat a vypínat jen současně .
odst. 6.10.8	Kontrolka	Povinná. Musí být sdružená s kontrolkou předních obrysových svítilen.



* Nad povinnými obrysovými světlý

Obrázek 3: Zadní obrysové svítilny – montážní vzdálenosti [8]

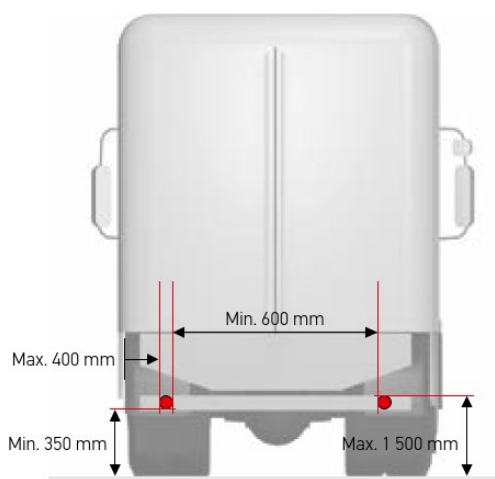
2.3 Brzdové svítilny

Hlavní parametry brzdových svítlen dle předpisu EHK/OSN č. 48, ve znění pozdějších předpisů viz Tabulka 3.

Tabulka 3: Brzdové svítilny – parametry [5]

odst. 6.7.1	Přítomnost na vozidle	Zařízení kategorie S1 nebo S2 jsou povinná pro všechny kategorie motorových vozidel.
odst. 6.7.2	Počet	2 ks. Pokud nejsou namontována zařízení kategorie S3 nebo S4, je možno na vozidlech kategorií M2, M3, N2 a N3 namontovat další dvě brzdové svítilny kategorie S1 nebo S2.
odst. 6.7.3	Uspořádání	Žádné zvláštní požadavky.
odst. 5.15	Barva	Červená.
odst. 6.7.4.1	Umístění (šířka)	U vozidel kategorie M1 a N1 max. 400 mm od vnějšího obrysu na kterékoli straně vozidla. Vzdálenost mezi brzdovými svítilnami neupravuje žádný předpis. U všech ostatních kategorií vozidel min. 600 mm mezi oběma brzdovými svítilnami, u vozidel s šířkou do 1 300 mm min. 400 mm. Umístění nepovinných svítlen musí být min. 600 mm nad povinnými svítilnami.
odst. 6.7.4.2	Umístění (výška)	Min. 350 mm, max. 1 500 mm (2 100 mm, pouze pokud tvar karoserie vozidla nedovoluje dodržet výšku 1 500 mm a nejsou namontovány žádné nepovinné svítilny). Umístění nepovinných brzdových svítlen musí být min. 600 mm nad povinnými brzdovými svítilnami.
odst. 6.7.4.3	Umístění (délka)	Na zadní části vozidla.
odst. 6.7.5	Úhly geometrické viditelnosti	Vodorovný úhel $\pm 45^\circ$ vůči podélné ose vozidla. Při umístění svítilny níže než 750 mm lze vnitřní úhel 45° snížit na 20° pod rovinu H. Svislý úhel $\pm 15^\circ$ vůči vodorovné rovině. Při umístění svítilny níže než 750 mm lze sestupný úhel snížit na 5° . V případě nepovinných zadních obrysových svítlen umístěných ve výšce 2 100 mm lze vzestupný úhel snížit na 5° .
odst. 6.7.6	Orientace	Směrem dozadu od vozidla.

odst. 6.7.7	Elektrické zapojení	Sešlápnutím brzdového pedálu je předán příslušný signál a všechny brzdové svítilny se musí současně rozsvítit .
odst. 6.7.8	Kontrolka	Nepovinná. Je-li namontována, musí fungovat jako kontrolka činnosti a dávat nepřerušované signální světlo, které se rozsvítí v případě selhání některé brzdové svítilny.
odst. 6.7.9	Další požadavky	Vzdálenost zadní mlhové svítilny od každé z brzdových svítilen musí být ve všech případech větší než 100 mm.



Obrázek 4: Brzdové svítilny – montážní vzdálenosti [8]

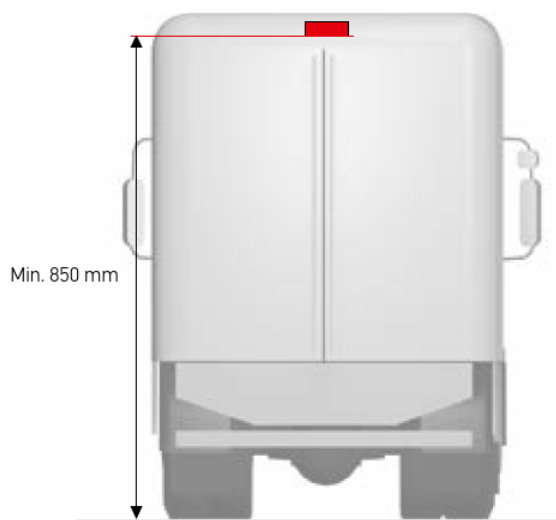
2.4 Vysoko umístěná brzdová svítilna

Hlavní parametry vysoko umístěné brzdové svítilny dle předpisu EHK OSN č. 48, ve znění pozdějších předpisů viz Tabulka 4.

Tabulka 4: Vysoko umístěná brzdová svítilna – parametry [5]

odst. 6.7.1	Přítomnost na vozidle	Zařízení kategorie S3 nebo S4 jsou povinná pro vozidla kategorie M1 a N1, s výjimkou podvozků s kabinou a těch vozidel kategorie N1, která mají otevřený prostor pro náklad; nepovinná u ostatních kategoriích vozidel.
odst. 6.7.2	Počet	1 ks. Pokud střední podélná rovina vozidla neprochází pevným panelem karoserie (např. dveře oddělující pohyblivé části vozidla) a není dostatek prostoru k montáži jediného zařízení kategorie S3 nebo S4 ve střední podélné rovině, lze montovat dvě zařízení kategorie S3 nebo S4 typu „D“.
odst. 6.7.3	Uspořádání	Žádné zvláštní požadavky.

odst. 5.15	Barva	Červená.
odst. 6.7.4.1	Umístění (šířka)	Vztažný střed musí být na střední podélné rovině vozidla. Pokud jsou montována dvě zařízení kategorie S3 nebo S4, musí být umístěna po jedné co nejbližší střední podélné rovině na jejích obou stranách. Přípustné vysunutí max. 150 mm.
odst. 6.7.4.2	Umístění (výška)	Buď max. 150 mm pod vodorovnou rovinou tečnou ke spodnímu okraji činného povrchu zadního okna, nebo min. 850 mm nad vozovkou. Vždy nad zařízením kategorie S1 a S2.
odst. 6.7.4.3	Umístění (délka)	Žádné zvláštní požadavky.
odst. 6.7.5	Úhly geometrické viditelnosti	Vodorovný úhel $\pm 10^\circ$ vůči podélné ose vozidla. Svislý úhel 10° nad vodorovnou rovinu a 15° pod touto rovinou.
odst. 6.7.6	Orientace	Směrem dozadu od vozidla.
odst. 6.7.7	Elektrické zapojení	Sešlápnutím brzdového pedálu je předán signál a všechny brzdové svítilny se musí současně rozsvítit .
odst. 6.7.8	Kontrolka	Nepovinná. Je-li namontována, musí fungovat jako kontrolka činnosti a dávat nepřerušované signální světlo, které se rozsvítí v případě selhání některé brzdové svítilny.
odst. 6.7.9	Další požadavky	Jsou-li zařízení kategorie S3 nebo S4 namontována ve vozidle, nesmí vyzařované světlo obtěžovat řidiče. Zařízení kategorie S3 a S4 nesmějí být sloučena s žádnou jinou svítilnou.



Obrázek 5: Vysoko umístěná brzdová svítilna – montážní vzdálenosti [8]

Z výše uvedeného výběru parametrů zadních obrysových světel a brzdových světel je zřejmé, že **velikost aktivní plochy** světel **není** předpisem **přesně stanovená**. Velikost světel omezují pouze montážní vzdálenosti jednotlivých světel a úhly geometrické viditelnosti rozložení světla. Stále více se u vozidel začínají prosazovat průběžné zadní obrysové světlíky, které jsou spojeny přes celou šířku vozidla. Z bezpečnostního hlediska je otázkou, zda je takto výrazný prvek skutečně vhodný využít pro zadní obrysové světlíky a zda by nebylo prospěšnější použít tento designový prvek spíše pro brzdové světlíky.



Obrázek 6: Zadní průběžná obrysová světlík Audi RS e-tron GT [9]

2.5 Konstrukční řešení zadního osvětlení silničních vozidel

Konstrukční řešení zadního osvětlení jsem popsal v bakalářské práci v kapitole 1, kde jsem se zaměřil na popis zadní světlíky, jejich částí a používaných světelných zdrojů. V současné době se lze setkat s těmito variantami konstrukčního řešení aktivních ploch brzdových světel:

- **Dvě aktivní plochy** – zadní obrysová světlík i brzdová světlík mají každá svou vlastní aktivní plochu. Při brzdění se vždy rozsvítí samostatná aktivní plocha brzdového světla dle umístění brzdových světel s předepsanou svítivostí. Pokud u vozidla již svítí zadní obrysová světla, pak na vozidle při brzdění svítí dvě nezávislé aktivní plochy s různou intenzitou světla.
- **Společná plocha** – brzdové světlíky mají část nebo celou aktivní plochu společnou se zadními obrysovými světlíky. Při brzdění se vždy rozsvítí aktivní plocha brzdových světel nebo v případě, že svítí zadní obrysová světla, se s vyšší intenzitou rozsvítí část nebo celá plocha již svítících zadních obrysových světel. Toto neplatí pro vysoko umístěné brzdové světlo, které nesmí být sloučeno s žádnou další světlíky.

- **Změna grafiky** – zajímavé řešení, které upoutá pozornost lidského oka, je změna grafiky při brzdění. Tohoto efektu si můžeme všimnout například u výrobce vozidel Volkswagen. Horizontální aktivní plochy zadního obrysového světla u modelu Passat se při brzdění změny na vertikální s větší plochou i intenzitou světla. S dalším faceliftem tohoto modelu došlo zároveň ke změně zadního osvětlení vozidla. Při brzdění nedochází ke změně grafiky jako ve výše popsaném případě, ale části aktivní plochy obrysové svítlny jsou zhasnuty a v zrcadlové poloze jsou rozsvíceny menší aktivní plochy brzdového světla s vyšší intenzitou světla. Větší část aktivní plochy zadního obrysového světla je trvale rozsvícena v obou režimech viz Obrázek 7.



Obrázek 7: Změna grafiky zadního osvětlení od výrobce Volkswagen [10]

Zadní část vozidla je částí, kterou řidiči motorových vozidel vidí nejčastěji a zároveň po nejdélší dobu. Bez ohledu na to, zda řidič jede ve městě, mimo město nebo po dálnici, neustále se dívá ze svého vozidla na vozidlo jedoucí před ním. Jak již bylo zmíněno, toto je důvodem, proč se výrobci snaží o úspěšný design zadní části, především zadních obrysových světel. Zásadní je však věnovat maximální úsilí ke zvýšení bezpečnosti silničního provozu, tedy aby řidič jedoucí za vozidlem nebyl nadměrně oslňován zadními obrysovými světly nebo jimi informačně přetěžován. Řidič by měl být jednoznačně a přesně informován o záměrech vozidla jedoucího vpředu.

3 ZRAKOVÉ VNÍMÁNÍ

3.1 Proces vnímání

Zrakové vnímání je pro řidiče hlavním zdrojem informací v porovnání například se sluchovým vnímáním. Během jízdy řidič nepřetržitě přijímá a zpracovává soubor různých informací, mezi které patří mimo jiné i vibrace, zrychlení, teplota a psychická zátěž. Obecný proces vidění probíhá tak, že se oko pohybuje v pohledovém poli těkavými mikro pohyby. V okamžiku, kdy objekt zaujme pozornost, se zrakový receptor zaměří a soustředí na tento objekt. Optický systém oka podnět zpracuje a transformuje na nervový vzruch vedený do mozkového centra vidění. Právě v tento okamžik probíhá rozhodování o odpovědi organismu na vzniklou situaci. Tento získaný vjem může být dále transformován na nervový vzruch, který se poté šíří k nervosvalovým ploténkám. Vzruch je zpracován do nervového stahu a následně dochází k motorickým funkcím. Pokud získaný vjem není dále transformován, pak může být uložen do paměti nebo dokonce pominut. Pokud má řidič dostatečně rychle a přesně rozpoznat náhlé nebezpečí, je důležité, aby nedošlo k chybnému jednání, které může být způsobeno nedostatkem informací, chybným rozpoznáním důležitých podnětů nebo nadměrným množstvím informací. Důležitým faktorem je bezesporu i zkušenost řidiče. Je běžné u řidiče začátečníka, že je rychlost rozpoznání důležitých informací od méně důležitých pomalejší. V porovnání se zkušenými řidiči využívá řidič začátečník v menší míře periferní vidění a zároveň má menší zorné pole. [26], [31]

3.2 Vybrané části lidského oka

Rohovka

Nejvypouklější část oka, která překlenuje a uzavírá otvor v předním okraji bělimy, se nazývá rohovka. Jedná se o vstupní část optického prostředí oka. Z hlediska lomu světla se jedná o nejvýznamnější část, která vlivem svého přesného zakřivení směřuje světelné paprsky do centra oka. [34]

Oční komory

Oko má dvě oční komory, přední a zadní, které spolu vzájemně komunikují prostřednictvím zornice. Komory obsahují hustou čirou tekutinu, kterou nazýváme komorová voda. Přední komora je ohraničena zadní plochou rohovky, přední plochou duhovky a částí čočky. Zadní komora je ohraničena zadní plochou duhovky, přední plochou čočky a řasnatým tělesem. Jejím hlavním úkolem je regulovat oční tlak. [34]

Čočka

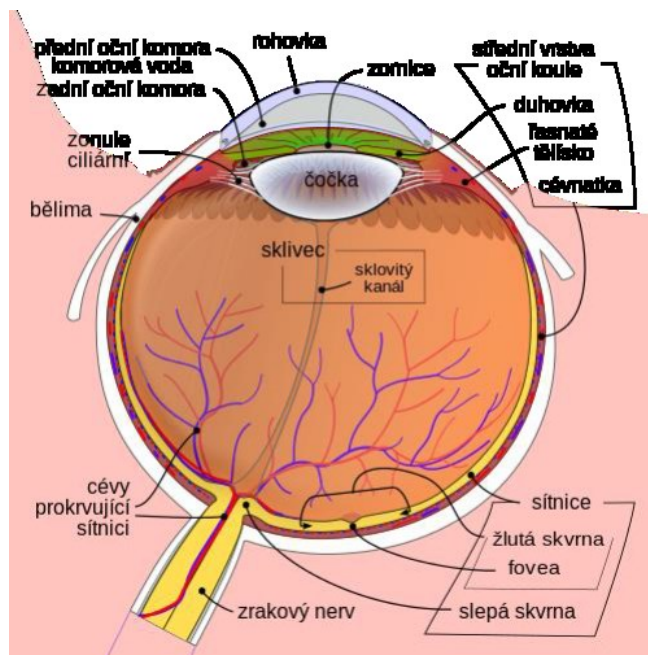
Jedná se o velmi pružnou průhlednou část oka. Přední plocha čočky je méně vyklenutá, naopak zadní plocha má zakřivení výraznější, zároveň touto plochou doléhá na sklivec. Hlavní funkcí čočky je upravovat ohniskovou vzdálenost oka a tím umožnit zaostření objektů v různé pozorovací vzdálenosti. Tohoto je docíleno kontrakcemi ciliárního svalu, který mění zakřivení čočky. [16]

Sklivec

Sklivec je bezbuněčná světlolomná vodnatá hmota vyplňující vnitřní dutinu oční koule, která zároveň tvoří určité lůžko pro čočku. Zbytek sklivce doléhá na vnitřní plochu sítnice. Hlavním úkolem sklivce je udržet vnitřní napětí oční koule. Tím zachová její kulovitý tvar a udržuje hladký a rovný povrch sítnice. [16]

Sítnice

Sítnice je tenká vrstva tvořená vrstvami fotoreceptorových buněk, které jsou schopny dopadající světlo v reálném čase vyhodnotit, informaci převést na nervové impulsy a pomocí zrakové dráhy ji předat mozku k dalšímu zpracování. Fotoreceptorové buňky zachycující světelné záření rozdělujeme na tyčinky a čípky. Tyčinky jsou citlivé na světlo, proto jsou využívány za šera a tmy, avšak rozlišují pouze odstíny šedé. Naopak čípky dokážou rozlišit tři základní barvy – červenou, modrou, zelenou a jejich barevné kombinace. Čípky potřebují dostatek světla; jsou tedy využívány nejlépe během dne. Místo výstupu zrakového nervu, který je bez čípků a tyčinek, se nazývá slepá skvrna. Tuto skvrnu oči překrývají svými zornými poli, a proto ji nevnímáme. Naopak žlutá skvrna je místem s největší koncentrací čípků, jedná se o místo nejostřejšího vidění, tzv. centrálního vidění. Rozmístění čípků a tyčinek na sítnici je takové, aby bylo dosaženo co nejlepší kombinace vidění jak ve dne, tak i v noci. [33], [34]



Obrázek 8: Lidské oko [13]

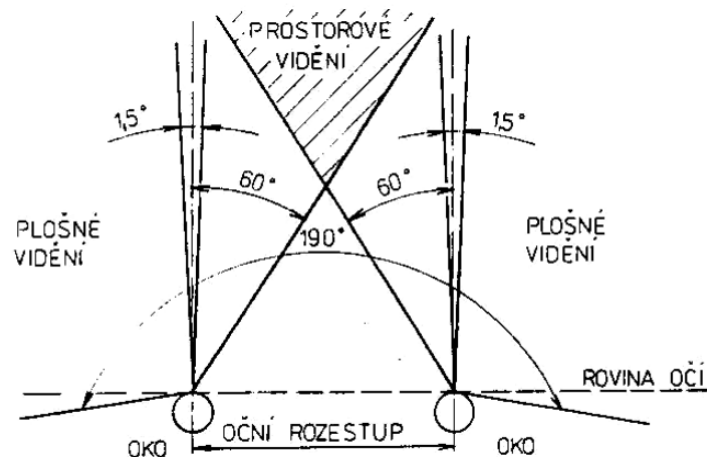
3.3 Rozlišovací schopnosti lidského oka

Lidské oko je složitý smyslový orgán, který je zároveň dokonalým optickým systémem. Všechny objekty vyzařují nebo odrážejí světlo. Vnímání objektů je poměrně komplikovaný fyziologický proces. Odražené světlo směřující k řidiči proniká optickým prostředím oka. Paprsky prochází rohovkou, přední oční komorou, oční čočkou, sklivcem a dopadají na zadní část oka, která je pokryta sítnicí. Optická soustava oka se snaží sbíhající se paprsky vždy soustředit do místa centrálního vidění, tedy do místa žluté skvrny. Pokud paprsky dopadají mimo žlutou skvrnu, jedná se o periferní vidění. [11], [33]

Rozsah zorného pole řidiče

Celkový obraz vytvořený na sítnici tvoří základ zorného pole a pohybuje se na úrovni 190° viz Obrázek 9. Přestože je člověk informován o dění v poměrně širokém rozmezí, jedná se o nepřesné, neostré vidění, které se nazývá periferní vidění. [14] Funkční zorné pole je výsečí zorného pole a v tomto poli řidič v daném okamžiku vnímá objekty a je schopen na ně reagovat. Zorné pole není po celou dobu jízdy vozidlem konstantní a se vzrůstající rychlostí vozidla se toto pole zužuje. Například při rychlosti 100 km.h⁻¹ tvoří výseč zorného pole pouze 40°. Na vše, co se nachází za hranicí této výseče, již řidič neregistruje. Lidské oko totiž není připravené na situaci, kdy se pohybujeme rychlostí mnohonásobně přesahující naše vlastní fyzické limity. O obdobnou situaci se jedná v případě, kdy jsou na řidiče kladeny zvýšené nároky na pozornost. Kromě polohy objektu v zorném poli řidiče je také důležitá i velikost objektu.

Řidič začátečník využívá pro získání informací hlavně centrální vidění; tedy fixuje pohled na daný objekt. Efektivní využívání periferního vidění získá až praxí v řízení vozidla. Odhaduje se, že k optimálnímu zrakovému vnímání při řízení vozidla dochází až po ujetí 50 tis. km. Pozitivní vliv na vnímání objektu má i stav očekávání možné situace. Tuto zkušenost lze rovněž získat praxí v řízení. [15], [31]



Obrázek 9: Zorné pole člověka [14]

Rozlišení intenzity světla

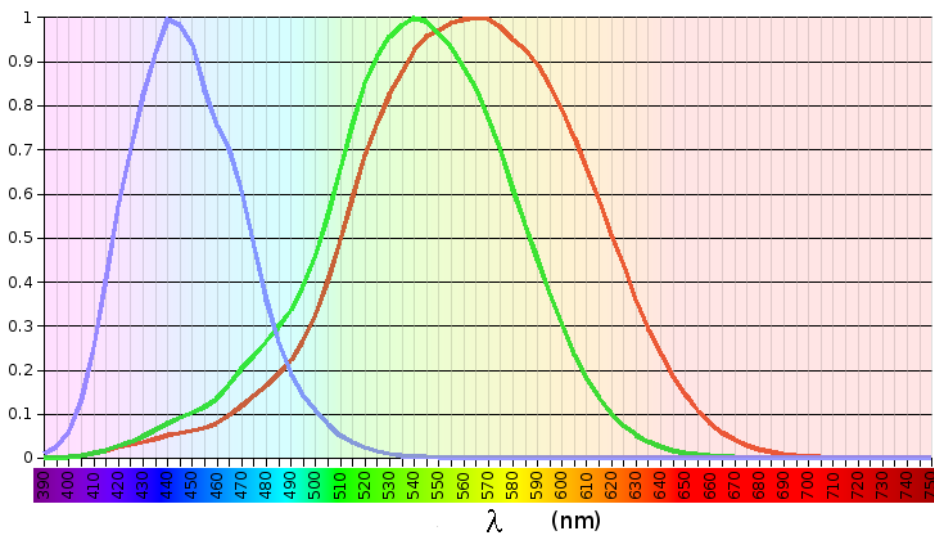
Podstatou rozlišení intenzity světla je anatomické rozložení fotoreceptorových buněk, tedy již zmíněných tyčinek a čípků na sítnici. Na vnějším okraji sítnice jsou prakticky jen tyčinky, které umožňují vidění za tmy. Jak již bylo uvedeno, čípky potřebují dostatek světla, proto umožňují vidění při denním osvětlení a nacházejí se zejména ve žluté skvrně. Za denního světla vidí člověk nejlépe přímou fixací pohledu a zaostřením pozorovaného předmětu. Tyčinky na okraji sítnice umožňují dobré periferní vidění, avšak toto vidění postrádá příslušné detaily. [34]

Adaptace na tmou a světlo

Rozsah intenzity světla, kterému se lidské oko dokáže přizpůsobit, je poměrně velký, avšak tato schopnost při extrémních změnách není okamžitá; oko se postupně přizpůsobuje. Při jízdě za jasného osvětlení a následném vjezdu např. do tunelu si oko postupně „zvyká“ na tmou, probíhá tedy adaptace na tmou. Tento proces je komplikovaný a zdlouhavý a probíhá v několika fázích. Úplná adaptace oka na tmou může nastat dokonce až po jedné hodině. Naopak přechod ze šera do světla se nazývá adaptace na světlo. Ta probíhá velmi rychle, nicméně k úplné adaptaci oka dochází až po šesti minutách. [22], [35]

Barevné vidění

Vnímání barev je pro řidiče vozidla důležité z důvodu správného rozpoznání dopravního značení a vzniklých situací v dopravním provozu. Světelné paprsky odražené od různých předmětů dopadají do oka a způsobují podráždění světločivných buněk – čípků, které reagují na barvu. Tři druhy čípků reagují na červenou, zelenou a modrou barvu. Dle podráždění jednotlivých čípků vnímáme danou barvu nebo při podráždění kombinace čípků vnímáme barevné odstíny. Lidské oko je nejcitlivější na vlnové délky, které odpovídají zelené, někdy se uvádí i žlutozelené barvě. [22]



Obrázek 10: Spektrální citlivost čípků v závislosti na vlnové délce [13]

Zraková ostrost

Zrakovou ostrost lze definovat jako minimální vzdálenost dvou bodů v prostoru, které z dané vzdálenosti dokáže lidské oko rozeznat. Pro řidiče platí, že s rostoucí rychlostí vozidla musí být i lepší zraková ostrost. Jedině tak řidič včas rozpozná dopravní značení, jiné účastníky silničního provozu nebo nebezpečí před vozidlem. Zraková ostrost se také podílí na odhadu rychlosti jízdy ostatních vozidel. [15], [22]

Akomodace oka

Lidské oko je schopno vidět ostře objekty v různých vzdálenostech. Oko se tedy přizpůsobí vzdálenosti; jedná se o tzv. blízký bod (maximální akomodace), který je pak ostře zobrazen na sítnici. Opakem je ostře zobrazený tzv. vzdálený bod (nulová akomodace), kdy je oko v klidu. Tohoto je dosaženo změnou plochy čočky, čímž dojde ke změně ohniska oka. Uvedenému mechanismu říkáme akomodace oka. Zdravé oko má z počátku polohu vzdáleného bodu v nekonečnu, avšak mezi 40–50 lety života se začíná tato poloha měnit. Blízký bod se mění již

v průběhu života, jeho vzdálenost se s rostoucím věkem zvětšuje a schopnost akomodace klesá. V průběhu řízení vozidla musí lidské oko téměř nepřetržitě využívat akomodaci k rozpoznání všech nebezpečných objektů v jeho zorném poli. Správná funkce oka je tedy nezbytná pro bezpečnou jízdu. [19]

Vnímání prostoru

Řidič se při jízdě trvale pohybuje v prostoru a je ovlivňován řadou objektů, které se v tomto prostoru nacházejí. Proto je velmi důležité správně vnímat prostor i objekty nacházející se v tomto prostoru. Vnímání prostoru řidiči umožňuje vyhodnotit objekty před ním, odhadnout vývoj dopravní situace a následně správně zareagovat na tuto situaci. Prostorové vidění je nejvyšším stupněm binokulárního vidění, tedy schopnost současného vidění oběma očima. Přestože se v levém i pravém oku obrazy pozorovaného objektu liší, splývají v jediný vjem. Rozdíl obrazů je dán různou polohou obou očí vůči pozorovanému objektu, a právě proto lze prostorově vidět. Vnímání hloubky prostoru probíhá do vzdálenosti 20–30 metrů a napomáhá v situacích, jako jsou odhad vzdálenosti vozidla, otáčení vozidla, zařazování se do jízdního pruhu, parkování apod. Přestože některé profese vyžadují vyšší míru prostorového vidění, např. jeřábník, tak jednoocí řidiči nevykazují vyšší riziko nehody oproti řidičům s binokulárním viděním.[34], [36], [42]

Kontrastní citlivost

Vnímatelnost kontrastu roste se vzrůstající velikostí rozdílu jasů sledovaných objektů. Jedná se tedy o schopnost rozlišit rozdíl jasů dvou dostatečně velkých ploch. Kontrastní citlivost se mění v průběhu života, kdy ve vyšším věku dochází k jejímu největšímu poklesu. Vyšetřením kontrastní citlivosti lze rozpoznat funkčnost zrakového orgánu a může být také ukazatelem poklesu zrakové ostrosti. Kontrast je využíván také brzdovým systémem silničních vozidel, kdy při použití brzd dochází k rozsvícení aktivních ploch brzdových světel, čímž začnou tyto plochy vynikat nad okolím a vzniká kontrast. Tento kontrast je tedy rozdílem intenzity jednobarevného osvětlení. Existují situace, při kterých může být rozpoznání změny kontrastu aktivních ploch brzdových světel komplikované. Například odraz slunečních paprsků na krycím skle brzdové svítilny může zhoršit podmínky pro správné rozlišení kontrastu. Také sluneční paprsky, které pronikají krycím sklem až na reflektor, se mohou od reflektoru odrážet a vytvářet tak dojem, že řidič vpředu jedoucího vozidla použil brzdy a signál následného skutečného použití brzd je rozpoznán se zpožděním. Lze také uvést situaci, kdy řidič vozidla má trvale připravenou nohu na brzdovém pedálu takovým způsobem, že dojde k rozsvícení aktivních ploch brzdových

světél, aniž by skutečně brzdil. Tímto jednáním defacto vyřadí funkci brzdových světél. V takovém případě nenastává kontrast ani optický podnět. Řidič jedoucí za tímto vozidlem nemůže rozpoznat okamžik, kdy vpředu jedoucí řidič skutečně začal aktivně brzdit. Je tedy odkázán pouze na vnímání rychlosti přibližování se k vozidlu jedoucímu vpředu. Taková situace je totožná s případem, kdy jsou u vozidla nefunkční brzdová světla. Pro začínající řidiče jedoucí za těmito vozidly je taková situace velmi nebezpečná a může vést i k dopravní nehodě. [19], [20], [35]



Obrázek 11: Zadní svítlna – odraz slunečních paprsků

Oslnění

Pomineme-li oslnění od slunce, pak oslnění nastává hlavně při jízdě v noci a přímém pohledu do přední svítlny protijedoucího vozidla. Oslnění je stav zraku, který následně způsobuje namáhavé vidění, ztrátu jistoty a únavu zraku, což vede ke snížení bezpečnosti silničního provozu. Je tedy nutné se vyvarovat přímému pohledu do předních světel protijedoucího vozidla. Doporučuje se zaměřit na vlastní jízdní pruh, ideálně na pravý okraj vozovky. Zároveň je vhodné správně pečovat o čelní sklo vozidla, protože nečistoty, zamlžení a škrábance zhoršují efekt oslnění. Efekt oslnění můžeme zaznamenat také u brzdových světél, kdy menší brzdové svítlny musí svítit intenzivněji. [35]

3.4 Optické klamy

Optické klamy vznikají díky chybnému vnímání reality. Obraz, který oko vidí, je zraková informace pro mozek, avšak ten ji zpracuje jinak. Pro bezpečnou jízdu je velmi důležité dobře vidět a správně rozpoznat pozorovaný jev. Rozlišujeme klamy [35]:

- objektivní – vyvolané např. lomem světla,
- fyziologické – kdy např. světlé plochy na tmavém pozadí se zdají být větší než stejně velké tmavé plochy na světlém pozadí,
- psychologické – např. klamy odhadu vzdálenosti nebo rychlosti; tyto klamy bývají příčinou mnoha dopravních nehod.

Zraková informace v případě řidiče jedoucího vozidlem bývá často ovlivněna optickými klamy, které mohou způsobovat chybnou interpretaci – hlavně v případech, kdy se jedná o vnímání

velikosti a směru. Zhoršené vnímání reality nastává za zhoršených podmínek viditelnosti např. za tmy, mlhy, deště a sněžení. Podobný vliv na vnímání reality má i prostředí, ve kterém se řidič s vozidlem pohybuje. Stejnou šířku vozovky vnímá řidič odlišně v oblasti zastavěné vysokými budovami nebo v otevřeném prostoru. Pokud má řidič bezpečně řídit vozidlo, je velmi důležité, aby také správně vnímal rychlost; zejména rychlost vozidel přijíždějících v protisměru. Oko vnímá rychlost vozidel přes pohyb těchto vozidel v prostoru. Řidič sledující pohyb vybraného objektu tedy zároveň odhaduje i jeho rychlost, a to vzhledem k okolnímu prostředí. Pokud řidič nemá vhodné objekty k porovnání, např. stromy podél vozovky, může podlehnout zrakovému klamu a vyhodnotit, že vozidlo jede pomaleji. K podobné situaci dochází při jízdě v tunelu s umělým osvětlením. Jedná se o tzv. tunelový klam nebo iluzi, kdy řidič ztrácí přehled o rychlosti svého vozidla. V situaci, kdy se před vozidlem pohybuje další vozidlo, se tento klam ještě zhoršuje. Řidič má pak tendenci neustále zrychlovat. K dalším z řady klamů patří klam uvyknutí na vysokou rychlost. Tento klam se projevuje při dlouhé monotónní jízdě, typicky na dálnici. Lidské tělo i mysl jsou adaptabilní a naše smysly se přizpůsobují aktuálním podmínkám. Řidič po nějaké době získá pocit, že rychlost vozidla je pomalejší, než je reálná rychlost vozidla. Následné zpomalení z důvodu odbočení z dálnice může být pro řidiče začátečníka náročný manévr. Řidič zpomalí na pocitově správnou rychlost, avšak reálná rychlost je výrazně vyšší a mnohdy za hranicí průjezdné rychlosti zatáčkou. Optických klamů, které ohrožují bezpečnost silničního provozu, je celá řada. Jejich hlavní nebezpečí spočívá v tom, že si je řidič vůbec nemusí uvědomovat. Vyhnout se optickému klamu lze například pravidelnými přestávkami v jízdě, kdy si mysl řidiče odpočine. [11], [37], [41]

3.5 Oční vady [21]

Lidské oko může vykazovat různé odchylky od fyziologického stavu, které mohou ovlivnit bezpečnou jízdu vozidlem. Mezi tyto odchylky řadíme:

- **Dalekozrakost** – je způsobena kratším okem, než je obvyklé, tudíž se paprsky sbíhají v ohnisku, které leží za sítnicí. Stálou akomodací dokáže oko tento stav kompenzovat, avšak vlivem dlouhodobé námahy očních svalů dochází k bolesti hlavy a rozmazanému vidění. Korekci dalekozrakosti lze docílit pomocí brýlí se spojenými čočkami.
- **Krátkozrakost** – je způsobena naopak delším okem, kdy se paprsky sbíhají v ohnisku ležícím před sítnicí. Korekci krátkozrakosti docílíme pomocí brýlí s rozptylkami.
- **Antigmatismus** – jedná se o nestejně zakřivení rohovky, které způsobuje, že se paprsky sbíhají v jiném ohnisku. Obraz není ostrý, přestože je na sítnici. Korekci antigmatismu docílíme cylindrickými čočkami.

- **Šilhání** – jedná se o poruchu koordinace očních pohybů. Důsledkem toho obrazy objektů nedopadají na příslušná místa na sítnici. Šilhání korigujeme pomocí brýlí, cvičením očních svalů nebo chirurgicky, avšak drobné odchylky ve vnímání zůstanou.
- **Barvoslepost** – neschopnost rozeznávat barvy, případně oslabení této schopnosti. Lidé buď vnímají pouze odstíny namíchané ze dvou základních barev nebo vidí pouze jednu barvu o různé intenzitě.
- **Šedý zákal** – toto onemocnění zhoršuje vidění za šera a za tmy a zároveň zvyšuje citlivost na oslnění. Šedý zákal lze odstranit pouze chirurgickým zákrokem.
- **Zelený zákal** – způsobuje výpadky vidění v zorném poli. Zelený zákal lze léčit vhodnou medikací, v horších případech je nutný chirurgický zákrok.

Jak již bylo zmíněno, při řízení vozidla je nejdůležitější zrak. Řidič zrakem vnímá až 90 % informací. Přestože je lidské oko schopno zaregistrovat velké množství informací, do vědomí řidiče se dostane pouze jejich část. Vzhledem k bezpečnosti silničního provozu je důležité dobře vidět a správně rozeznat, co řidič vidí. Dobře vidět však neznamena dobře vnímat. [42]

Pro bezpečnost silničního provozu je také zásadní sebekázeň každého řidiče. Pokud má řidič používat při řízení vozidla brýle, je nezbytné, aby brýle po dobu řízení vozidla řidič používal. Zároveň pokud řidič zpozoruje některý z příznaků očních vad, měl by situaci řešit s pomocí lékaře. Dle zákona č. 361/2000 Sb. - § 87 „Pravidelné lékařské prohlídky“ je stanovena kromě vstupní lékařské prohlídky i povinnost podstoupit pravidelnou lékařskou prohlídku. Toto se týká především řidičů profesionálů a osob starších 65 let. Tyto lékařské prohlídky jsou zásadní pro získání nebo udržení řidičského oprávnění. [23]

4 REAKČNÍ DOBA

Délka reakční doby se u každého řidiče liší. Zároveň se mění v průběhu jízdy vozidlem i u jednoho a téhož řidiče. Řidič musí během jízdy adekvátně reagovat na řadu podnětů vyvolaných situacemi v silničním provozu. Reakční dobou je tedy doba potřebná k reakci řidiče. Tato doba začíná okamžikem zaznamenání podnětu a významně ovlivňuje brzdou vzdálenost vozidla, a tedy i možnost zabránit kolizi. Mnohým kolizím by mohlo být zabráněno, kdyby každý zúčastněný provedl jízdní manévry o půl až jednu vteřinu dříve. [38]

„Reakční dobou ze soudně inženýrského hlediska nazýváme čas od vjemu do uvedení (zabezpečovacího) zařízení v činnost naučeným způsobem. V neobvyklých situacích, bez naučeného způsobu, bude potřebná doba individuálně delší.“ [24]

4.1 Analýza rozdělení okamžiků nehodového děje [32]

Vjem – jedná se o časový úsek potřebný k detekci stimulu smyslovými senzory. Nejdůležitější je zde intenzita a komplexnost podnětu včetně podmínek, při kterých je podnět vnímán. Nemalou mírou je zde zastoupena připravenost každého řidiče na možnost, že stimul nastane. [25]

Rozpoznání vjemu – jedná se o časový úsek potřebný k rozpoznání podstaty a smyslu každého vjemu. Zásadní roli zde mají zkušenosti řidiče. Tento úsek může být velmi krátký. V případě, že se jedná o stimul, který je řidiči známý a má ho uložený v paměti z minulých zkušeností, lze mluvit o automatické odpovědi. Kontrolovaná odpověď, která představuje výrazně delší dobu, je v případech, kdy se jedná o stimul neznámý. [25]

Uvědomění – jedná se o čas potřebný k rozpoznání, interpretování podstaty okolí, vytažení jeho smyslu a předpověď jeho možného budoucího vývoje. Příkladem lze uvést řidiče, který rozezná překážku na silnici a zkombinuje tento vjem se znalostí své vlastní rychlosti a vzdálenosti. Představí si sled událostí, které mohou nastat nebo se stanou. I zde každý nový stimul prodlužuje dobu, která se musí rozumově zpracovat. [25]

Zvolení reakce – jedná se o konečnou fázi a čas, který je potřebný k rozhodnutí, jakou odezvu řidič zvolí. Výběr z více možných řešení prodlužuje reakční dobu. [25]

K odvrácení nehody je zapotřebí, aby byla zvolena nejen správná reakce, ale i její včasné a kvalitní provedení. Reakční doba řidiče má tedy zásadní vliv na průběh dopravní nehody. [25]

4.2 Optická reakce

Jedná se o časový úsek, který potřebuje zrakový orgán k zaregistrování objektu. Řidič vozidla během jízdy sleduje objekty nacházející se v jeho zorném poli a vyhodnocuje míru nebezpečí vzhledem k jeho jízdě. Pokud je objekt bezpečný, pak řidič přesouvá pozornost k dalšímu objektu. Může nastat situace, kdy se řidič vrátí k již jednou vyhodnocenému objektu a opět ověřuje míru bezpečnosti. Tyto objekty jsou okem přímo pozorovány, zaostřeny a optická reakce je tedy nulová. Všechny ostatní objekty jsou zaznamenávány periferním viděním a je nutné natočení oka směrem k danému objektu. Při sledování objektu v rozsahu do 5° dochází k zvýšení doby optické reakce na průměrných 0,48 sekundy. V případě rozsahu nad 5° je průměrná doba optická reakce 0,61 sekundy. Optickou reakci výrazně ovlivňuje kontrast. Kontrastní citlivost byla popsána v kapitole 3.3. Dále optickou reakci také ovlivňuje barva, kdy může nastat situace, že je barva objektu shodná nebo odstínem blízká barvě okolí objektu. Je také vhodné zmínit i případné oční vady řidiče. Ve všech těchto případech může být pro řidiče náročnější objekt zpozorovat včas a následně vhodně zareagovat. [38]

4.3 Psychická reakce

Je doba, která uplyne od konce optické reakce, tedy optického zafixování objektu, po začátek svalové reakce. Začátkem svalové reakce je pokládán okamžik snímání nohy z pedálu akcelérátoru. V průběhu doby psychické reakce řidič vyhodnocuje situaci a rozhoduje se o provedení konkrétní reakce na daný podnět. Tuto část reakční doby ovlivňují mimo jiné zkušenosti, věk a pohlaví řidiče. Zkušený řidič vyhodnotí jemu známou a již zažitou a uloženou situaci v paměti rychleji než řidič začátečník. Předvídáním budoucího děje se doba psychické reakce zkracuje. Naopak situace vyžadující výběr z několika možností řešení dobu psychické reakce prodlužují, a to z důvodu snahy vyhodnotit nejlepší možné varianty řešení. [30], [38]

4.4 Svalová reakce

Je doba, která uplyne od okamžiku snímání nohy z pedálu akcelérátoru do okamžiku doteku brzdového pedálu a reprezentuje tedy dobu potřebnou na přesun nohy z původní polohy do nové polohy. I tuto část reakční doby ovlivňují mimo jiné zkušenosti, věk a pohlaví řidiče. Doba trvání svalové reakce je ovlivněna trénovaností svalstva a rychlostí zapojení svalů. U trénované osoby lze předpokládat kratší dobu svalové reakce. Optimální trajektorie pohybu také ovlivňuje dobu svalové reakce. Dostatečnou praxí řidič pohyb natrénuje, stane se zažitým a není nutné ho kontrolovat zrakem. Výsledná doba se tímto tréninkem zkracuje. [24], [30]

Tabulka 5: Přehled úseků reakční doby [24]

Druh reakce a odezvy		Doba trvání [s]	
		Spodní mez 2 %	Horní mez 98 %
Optická reakce	Řidič přímo pozoruje kritický objekt	0,00	0,00
	Řidič sledoval jiný objekt v rozsahu do 5°	0,32	0,55
	Řidič sledoval jiný objekt v rozsahu nad 5°	0,45	0,70
Psychická reakce (rozhodování)		0,22	0,58
Svalová reakce (přesun nohy z pedálu na pedál)		0,15	0,21
Odezva vozidla	Prodleva brzd (od dotyku pedálu po první dotyk třecích ploch)	0,03	0,06
	Náběh brzdného účinku (od prvního dotyku třecích ploch brzd po začátek zanechávání stop pneumatik na vozovce)	0,07	0,49
Celková doba do účinku brzd		0,10	0,55
Celkem	Řidič přímo pozoruje kritický objekt	0,47	1,34
	Řidič sledoval jiný objekt v rozsahu do 5°	0,79	1,89
	Řidič sledoval jiný objekt v rozsahu nad 5°	0,92	2,04

4.5 Jízda v noci

Většina uváděných reakčních dob je stanovena za definovaných světelných podmínek, avšak tyto podmínky v popisu často chybí. Při jízdě v noci se jedná o zrakové vnímání řidiče při tzv. skotopickém vidění, při denním světle se pak jedná o fotopické vidění. Skutečnost, že všechny podněty jsou registrovány na sítnici oka a následně převedeny zpětně do místa s nejvyšší ostrostí pro všechny druhy vidění, způsobuje změnu zrakové ostrosti. [14]

Při skotopickém vidění klesne zraková ostrost ze 100 % (fotopické vidění) na 40 %. Přestože je zraková ostrost periferních částech sítnice podstatně vyšší, lidské oko se vždy natáčí tak, aby podnět zpracovávalo místem s nejostřejším viděním. Výsledkem je nepestrý a nebarevný obraz a zároveň je sníženo vnímání prostoru. Z výše uvedeného je patrné, že tyto zrakové úlohy jsou pro řidiče jedny z nejsložitějších a jsou závislé na rychlosti zrakového vnímání každého řidiče. Příkladem je Tabulka 6, kde je uvedena reakční doba řidiče při skotopickém vidění (řidič 50 let, nekontrastní podnět). [14]

Tabulka 6: Reakční doba řidiče – skotopické vidění [14]

Optická reakce	2,51 s
Psychická reakce	0,58 s
Svalová reakce	0,21 s
Celkem	3,30 s

4.6 Vybrané rizikové faktory

Únava

Jedná se o velmi nebezpečný faktor, který způsobuje dopravní nehody s mnohdy fatálními následky. Projevy únavy jsou velmi subjektivní a hranice, kdy řidič začne pociťovat únavu, je u každého řidiče různá. V extrémním případě únavy lze hovořit o vyčerpání, které mohou provázet změny vnímání, zmatenost nebo halucinace. Únavu rozlišujeme na fyzickou a psychickou. Velká fyzická námaha může vyvolat i pocit psychické únavy. Únavu lze také rozdělit na akutní, která po odpočinku odezní nebo chronickou, která se projevuje bolestí hlavy, poruchami paměti nebo spánku. [22]

Agresivita

Dalším z faktorů, který výrazně ohrožuje bezpečnost silničního provozu, je agresivita. Míra agresivity roste v hlučném nebo horkém prostředí. V silničním provozu se můžeme setkat s verbální a fyzickou agresivitou vzniklou v afektu nebo instrumentální agresivitou, tedy úmyslným jednáním spočívajícím v nebezpečném omezování a ohrožování ostatních účastníků silničního provozu. Toto jednání v současném přetíženém silničním provozu je zvláště nebezpečné a neomluvitelné. Řidiči si často své nevhodné jednání uvědomují až ve chvíli, kdy způsobili dopravní nehodu. [22]

Distrakce a monotonie

Distrakcí nazýváme stav, kdy je řidičova pozornost rozštěpena. Toto nastává v situacích, kdy je pozornost řidiče odpoutána od primární činnosti, tedy řízení vozidla k jiné činnosti, například konzumace jídla, psaní SMS nebo sledování následků jiné dopravní nehody. Pokud se v zorném poli řidiče nachází velké množství informací a většina z nich nesouvisí s dopravním prostředím, pak hrozí stav distrakce z důvodu informační přehlcenosti řidiče. V tomto případě se jedná o distrakci zrakovou. Dále může nastat distrakce mentální nebo sluchová, například když spolujezdec něco říká nebo ukazuje. Opakem distrakce je monotonie, tedy nízké informační

zatížení řidiče, způsobené malým množstvím podnětů, kdy řidič upadá do stavů snížené bdělosti. Tento stav nastává především na dlouhých rovných cestách, za tmy nebo na řídiči dobře známém úseku. [37]

Distrakce i monotonie vedou k prodloužení reakční doby řidiče a snižují jeho připravenost reagovat na nebezpečný podnět a představují tak významný rizikový faktor. [37]

Stres

Posledním z faktorů, který je vhodné zmínit, je stres. V dnešní velmi hektické době je řidič vystaven nadměrné zátěži v podobě řady faktorů, jako jsou především časová tíseň, nadměrný hluk, pracovní povinnosti, frustrace, osobní problémy apod. Stres člověka provází v každodenním životě a snižuje schopnost vnímání podnětu, což také vede k prodloužení reakční doby řidiče. [22]

4.7 Vybrané asistenční systémy

Výrobci vozidel neustále svá vozidla vyvíjí a snaží se snížit vliv lidské chyby na vznik dopravní nehody. V současné době existuje mnoho asistenčních systémů, které dokážou zkrátit reakční dobu řidiče a mají tak z hlediska bezpečnosti silničního provozu vysokou důležitost. Tyto systémy se postupně stávají standardní výbavou dnes vyráběných vozidel. [30]

Systém BSM a BLIS

Tyto asistenční systémy monitorují „slepý úhel“, tedy úhel výhledu, ve kterém řidič vozidla nemůže zpozorovat jiné vozidlo nebo objekt. Tento úhel je dán jednak konstrukcí vozidla, především sloupky (A, B a C) a dále konstrukčním provedením vnějších zpětných zrcátek. Problém „slepého úhlu“ částečně vyřešili výrobci vozidel použitím sférických (zakřivených) zrcadel, toto řešení však problém zcela neodstranilo. Proto výrobci vyvinuli systém BSM, BLIS, který v okamžiku, kdy řidič vozidla hodlá změnit jízdní pruh, předjíždět apod., upozorní řidiče na vozidlo nacházející se ve „slepém úhlu“ a zabrání tak vzniku dopravní nehody. Tyto systémy mohou pracovat s radarovými nebo s kamerovými senzory. [28], [30]

Systém ACC

Tento systém automaticky reguluje odstup od vozidla jedoucího vpředu a dodržuje stanovenou vzdálenost i v případě náhlého brzdění vozidla jedoucího vpředu. Pokud vozidlo vpředu prudce zpomalí tak, že by mohla nastat kolize, pak systém uvede v činnost brzdovou soustavu, která v nejkratším možném čase dosáhne maximálního brzdného účinku, který dle situace může trvat

až do úplného zastavení vozidla. Tento systém spolupracuje s tempomatem a v okamžiku akcelerace vpředu jedoucího vozidla zrychluje až na požadovanou rychlost, přičemž stále zachovává stanovený odstup od vpředu jedoucího vozidla. Tento systém výrazně ulehčuje práci řidiče především na dlouhých cestách nebo v hustém provozu. [30]

Systém CWS a CAS

Tyto systémy jsou určeny pro **varování před kolizí (CWS)** nebo **prevenci před kolizí (CAS)**. Využívají snímače rozmístěné po celém obvodu vozidla a na základě získaných informací z těchto snímačů odhadují možnost srážky a následně varují řidiče vozidla akustickými nebo vizuálními signály na možné riziko. V extrémním případě může systém zasáhnout do řízení vozidla a odvrátit nebezpečnou situaci. [40]

Systém monitorování řidiče

Tyto systémy monitorují bdělost řidiče. V důsledku únavy dochází ke snížení soustředěnosti řidiče. Vzniká ospalost a následné stavy mikrospánku. Nehody, které unavený řidič způsobí, bývají obzvláště závažné, protože unavený řidič nebo řidič ve stavu mikrospánku nemá šanci včas a správně zareagovat na vzniklou situaci. Ke kolizi dochází v plné rychlosti a místo nehody je beze stop po brzdění. Mnozí řidiči nepoznají pokles své pozornosti a pokračují v jízdě nebo vědomě přeceňují své schopnosti. Proto z pohledu bezpečnosti silničního provozu je tento systém velice důležitý. Tyto systémy pracují na principu sběru a vyhodnocení dat z ovládacích prvků. Mezi tyto prvky patří natáčení volantu nebo rychlost sešlápnutí pedálů. Dále pak pracují s monitorovacími prvky, mezi které patří obličejové kamery a infrakamery, kamery sledující vodorovné značení na komunikaci a také využívají data z dalších asistenčních systémů, např. systém udržování v jízdním pruhu. V okamžiku, kdy tyto systémy vyhodnotí, že řidič začne ztrácet koncentraci, začíná být rozptýlený nebo začíná usínat, spustí varovný akustický signál, který doprovází zobrazení příslušné informace na přístrojové desce. Tento způsob varování patří k základním metodám varování řidiče před únavou u všech vyráběných systémů. Výrobci tyto systémy dále zdokonalují a vylepšují i varovné signály např. vibrace sedadla, zastavení vozidla u kraje a spuštění varovných světel, nebo předcházejí vzniku únavy řidiče úpravou klimatu a osvětlení ve vozidle. [28], [30]

Systémy nočního vidění

Přestože vývoj předních světlometů umožnil používat dokonalejší světlometry pro lepší viditelnost prostoru před vozidlem, mají systémy nočního vidění stále větší uplatnění, protože

pokryjí prostor se sníženou viditelností a jsou schopny o situaci v tomto prostoru včas informovat řidiče, který se tak může na situaci připravit dříve, než by ji sám zpozoroval. Nejvyspělejší systémy dokážou rozpoznat chodce nebo zvíře, kteří jsou v blízkosti předpokládané dráhy vozidla a v případě nebezpečí včas řidiče varují na displeji přístrojové desky nebo pomocí Head-up displeje. [32], [39]

V zásadě dělíme systémy nočního vidění na:

- **Aktivní** – které používají firmy Mercedes-Benz, Toyota a Lexus. Systém využívá speciální světlomety vyzařující do okolí infračervené paprsky, které jsou pro lidské oko neviditelné. Odraz těchto paprsků snímají kamery, které jsou citlivé na světlo v daném frekvenčním pásmu. [32]
- **Pasivní** – které používají firmy Audi, BMW, Cadillac a Honda. Tento systém nic nevysílá, pouze snímá tepelné záření okolních předmětů, na jehož základě vytváří obraz. Tyto systémy nemají tak kvalitní obraz jako aktivní systémy, ale mívají větší dosah a to až 300 metrů. [32]

5 STANOVENÍ PODMÍNEK MĚŘÍCIHO SYSTÉMU A URČENÍ REÁLNÝCH SITUACÍ, PŘI KTERÝCH BUDE MĚŘENÍ REALIZOVÁNO

5.1 Formulace problému

Včasná a správná reakce na situaci vzniklou před jedoucím vozidlem je základem pro odvrácení případné nehody. Aby mohl řidič vozidla včas a správně reagovat na rozsvícení brzdových světel, musí mu být předána jednoznačná informace o změně tohoto stavu. Reakční dobu řidiče ovlivňuje v průběhu jízdy vozidlem řada faktorů. V připravovaném experimentu je cílem zhodnotit závislost velikosti aktivní plochy brzdových světel na reakční doby řidiče.

V mé bakalářské práci jsem při experimentu použil měřicí soustavu z VVCD. Tato měřicí soustava byla pro daný experiment vyhovující. V diplomové práci jsem se primárně zaměřil na optickou a psychickou reakční dobu řidiče, a to bez vlivu neřízených podnětů odvádějících pozornost testované osoby. Pro tento experiment jsem zvolil měřicí soustavu založenou na platformě Arduino UNO¹, což umožní:

- Realizovat větší počet opakování měření jedné osoby, aniž by docházelo k ovlivnění výsledků z důvodu narůstající svalové únavy testované osoby. Tato únava by vznikala při intenzivním maximálním sešlápnutí brzdového pedálu s narůstajícím počtem opakování reakce na optický podnět. Z tohoto důvodu nebude svalová reakce předmětem měření.
- Vypočítat a zobrazit výslednou reakční dobu řidiče na jednotlivé optické podněty.
- Odstranit zákmity při stisku tlačítka.
- Vyhodnotit chybnou reakci nebo situaci, kdy měřená osoba na optický podnět nereagovala.
- Dosáhnout vyšší vzorkovací frekvence. Měřicí soustava založená na platformě Arduino umožňuje zvolit vzorkovací frekvenci až 1MHz.
- Řídit průběh celého experimentu dle naprogramované sekvence.
- Odstranit očekávaný stav rozsvícení aktivní plochy brzdových světel nastavením plovoucí délky doby mezi jednotlivými optickými podněty a také nepravidelným střídáním rozsvěcování jednotlivých aktivních ploch brzdových světel.

¹ Arduino UNO – je vývojová deska s mikrokontrolérem ATmega328.

- Simulovat poruchy osvětlení vozidla. Dle naprogramované sekvence nebudou některá světla rozsvícena.
- Zaznamenat klimatické podmínky uvnitř vozidla měřené osoby.

5.2 Definování měřených veličin

Optický signál je okamžik vzniku optického podnětu, který je dán okamžikem rozsvícení aktivní plochy brzdových světel, a to v nepravidelných intervalech dle naprogramované sekvence. Měřicí soustavou je označen jako *Mezičas OS*.

Reakční signál je okamžik konce psychické reakce testované osoby, který je dán okamžikem zmačknutí tlačítka *Reakce*. Měřicí soustavou je označen jako *Mezičas RS*.

Reakční doba t_R je vypočítána a zobrazena měřicí soustavou na základě vztahu (1).

$$t_R = \text{Mezičas RS} - \text{Mezičas OS} \quad (1)$$

Velikost aktivní plochy brzdových světel:

- **Standardní plocha** – tato plocha odpovídá velikosti aktivní plochy brzdových světel u sériově vyráběných svítlen vybraného vozidla.
- **Zvětšená plocha** – za tuto plochu jsem zvolil aktivní plochu obrysových světel u sériově vyráběných svítlen vybraného vozidla.

Rozdíl reakční doby Δt jsem vypočítal na základě vztahu (2).

$$\Delta t = t_{RS} - t_{RZ} \quad (2)$$

kde:

t_{RS} – je reakční doba na *Standardní plochu* brzdového světla

t_{RZ} – je reakční doba na *Zvětšenou plochu* brzdového světla

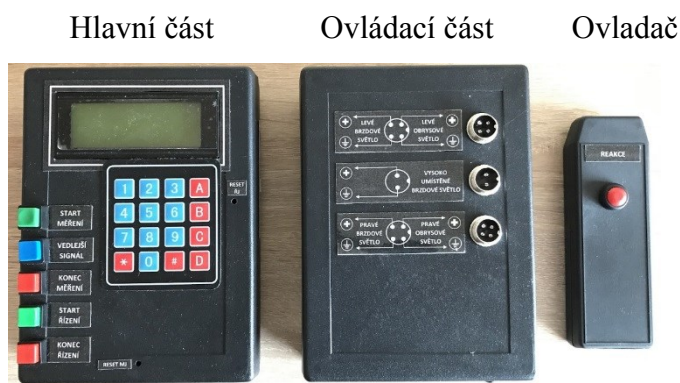
V průběhu měření zaznamenávala měřicí soustava také:

- Klimatické podmínky – vždy na začátku a konci měření byla změřena a zaznamenána teplota a vlhkost ve vozidle měřené osoby.
- Čas začátku a konce jednotlivých měření pomocí časového razítka.
- Celkový počet optických signálů u všech měření.
- Celkový počet signálů, na které testovaná osoba nereagovala.
- Celkový počet chybných reakcí. Tedy takových reakcí, kdy *Reakční signál* vznikl a trval ještě před vznikem *Optického signálu*.

5.3 Podmínky měřicího systému

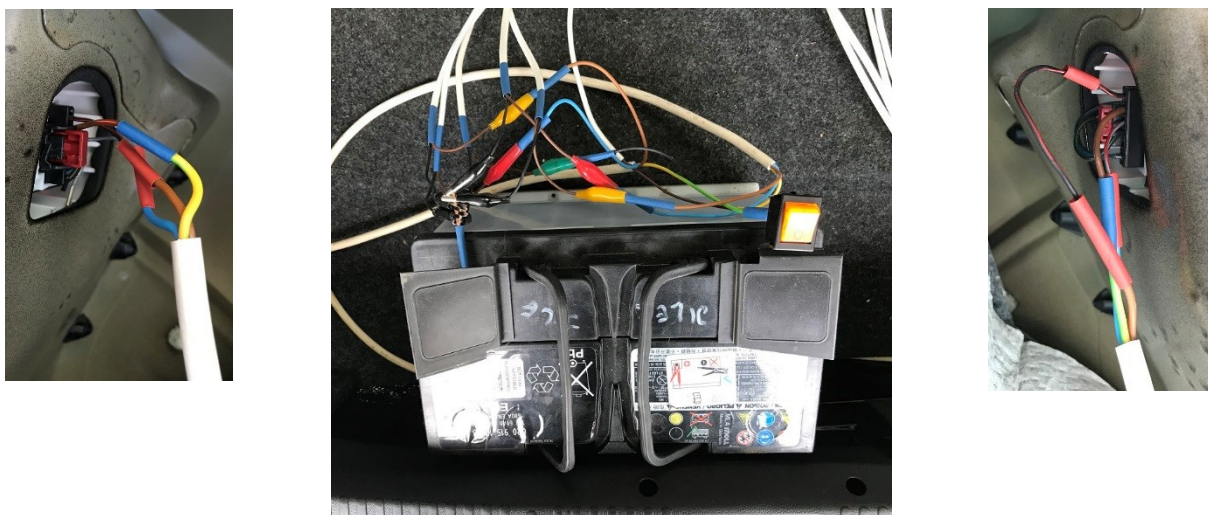
Popis a napojení měřicí soustavy

Použitá měřicí soustava se skládá ze tří hlavních částí viz Obrázek 12. Tuto měřicí soustavu jsem dále doplnil o notebook Dell Latitude E6320.



Obrázek 12: Měřicí soustava – jednotlivé části

K úspěšnému zapojení měřicí soustavy na vozidle bylo nutné vytvořit samostatný světelný okruh nezávislý na řídicí jednotce vozidla. K tomuto okruhu jsem připojil **Ovládací část**, která obsahovala soustavu spínacích relé. Připojení jednotlivých svítilen jsem provedl dle označení konektorů na **Ovládací části**. Dále jsem na baterii nainstaloval vypínač, který sloužil k zapnutí a vypnutí vytvořeného samostatného světelného okruhu. Vodiče vedoucí k jednotlivým svítilnám jsem přerušil a v místě přerušení jsem tyto vodiče pomocí barevně rozlišených krokosvorek napojil na jednotlivá spínací relé v **Ovládací části** měřicí soustavy. Žlutě izolované krokosvorky jsem propojil s vodiči vedoucími ke zdrojům světla pro brzdovou svítilnu se zvětšenou aktivní plochou. Červeně izolované krokosvorky jsem propojil s vodiči vedoucími ke zdrojům světla pro brzdovou svítilnu se standardní aktivní plochou a zeleně izolovanou krokosvorkou jsem propojil vodič vedoucí ke zdroji světla pro vysoko umístěnou brzdovou svítilnu. Na baterii jsem dále připojil všechny černě izolované krokosvorky, čímž došlo k uzavření jednotlivých elektrických okruhů každé svítilny. K přerušení těchto okruhů tedy docházelo pouze na základě aktuálního stavu sepnutí či rozepnutí přiřazených relé.

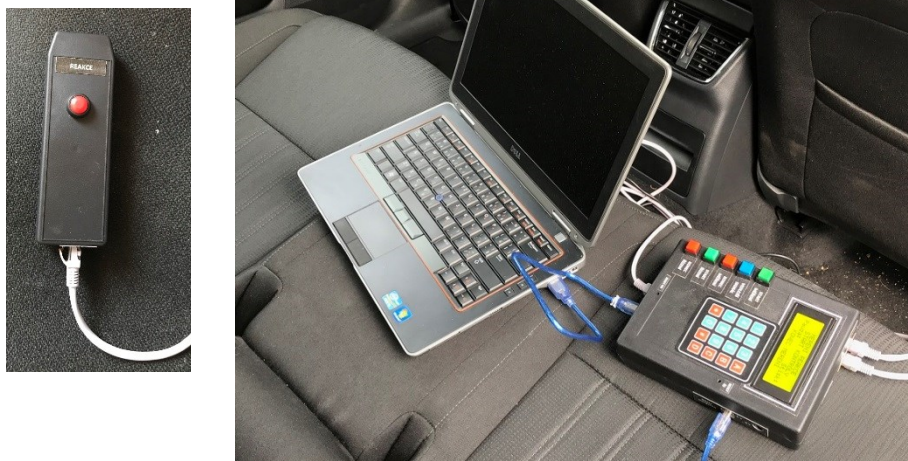


Obrázek 13: Samostatné světelné okruhy

Ovládací část jsem dále propojil pomocí UTP kabelu a modulárních konektorů RJ45 s **Řídící jednotkou** umístěnou v **Hlavní části** měřicí soustavy. Tato **Řídící jednotka** tedy ovládala dle naprogramované sekvence jednotlivé spínací relé v *Ovládací části*. K předání informace **Měřicí jednotce** o počátku vzniku *Optického signálu* jsem použil druhý UTP kabel s modulárními konektory RJ45. Tímto kabelem jsem propojil *Ovládací část* s *Měřicí jednotkou*, která byla rovněž umístěna v *Hlavní části* měřicí soustavy. **Ovladač** s tlačítkem *Reakce* jsem propojil s *Měřicí jednotkou* pomocí třetího UTP kabelu, čímž jsem zajistil předání informace o počátku vzniku *Reakčního signálu* na optický podnět.



Obrázek 14: Zapojení měřicí soustavy – vozidlo vysílající optické podněty



Obrázek 15: Zapojení měřící soustavy – vozidlo s měřenou osobou

Všechny tři UTP kabely byly shodné, bylo tedy možné je vzájemně zaměňovat. Všechny vstupní konektory byly barevně rozlišeny a označeny popisem. Toto zjednodušilo zapojení a eliminovalo vznik případné chyby v zapojení celé měřící soustavy. K napájení *Ovládací části* jsem použil nabíjecí adaptér se souosým konektorem. K napájení *Řídící jednotky* jsem použil nabíjecí adaptér s USB portem. *Měřící jednotku* jsem napájel pomocí USB kabelu připojeného k notebooku, na kterém jsem zároveň zaznamenával naměřená data.

Popis vozidel

Pro tento experiment jsem vybral vozidlo značky Škoda Rapid, které vysílalo optické podněty a vozidlo značky Škoda Octavia III, které bylo určeno pro měřenou osobu. Obě vozidla jsou umístěna ve VVCD v Pardubicích jako testovací vozidla. Konstrukční provedení zadní svítlny vozidla Škoda Rapid je řešeno variantou se společnou aktivní plochou brzdového a obrysového světla. Abych dosáhl objektivních výsledků měření, musel jsem pro obrysová světla, která reprezentovala *Zvětšenou plochu*, nainstalovat světelný zdroj o stejném výkonu, který je sériově instalován pro brzdová světla. Tímto jsem sjednotil optické parametry obou měřených aktivních ploch, kdy velikost *Standardní plochy* brzdového světla byla **4 899 mm²** a velikost *Zvětšené plochy* brzdového světla byla **16 568 mm²**. Dle vztahu (3) jsem dosáhl 3,4násobného rozdílu obou aktivních ploch brzdových světel.

$$q = \frac{\text{Zvětšená plocha}}{\text{Standardní plocha}} \doteq 3,4 \quad (3)$$

kde:

q – poměr zvětšené a základní plochy.



Obrázek 16: Standardní plocha a Zvětšená plocha brzdových světel

Velikost jednotlivých aktivních ploch jsem vypočítal pomocí Inkscape². Obě rozsvícené aktivní plochy brzdových světel jsem vyfotografoval a fotografie jsem importoval do prostředí Inkscape. Zde jsem vytvořil křivky kopírující celý obvod aktivních ploch. Poté jsem měřítkem přizpůsobil velikost těchto křivek tak, aby odpovídaly skutečné velikosti aktivní plochy brzdových světel. V posledním kroku jsem zadal provést výpočet plochy vybraných křivek.

Tabulka 7: Technické parametry vozidel

Parametry vozidel			Vozidlo s optickými podněty
Značka / typ vozidla			Škoda Rapid
Rok výroby			2016
Druh vozidla			Osobní
Převodovka			Manuální
Celková hmotnost		[kg]	1630
Velikost Standardní plochy		[mm ²]	4 899
Velikost Zvětšené plochy		[mm ²]	16 568
Zdroj světla	Standardní brzdová svítlna	[W]	1 x 21
	Zvětšená brzdová svítlna	[W]	4 x 21
Vnější rozměry	Výška	[mm]	1461
	Délka	[mm]	4483
	Šířka	[mm]	1706
	Rozvor	[mm]	2602
Motor	Zdvihový objem	[cm ³]	999

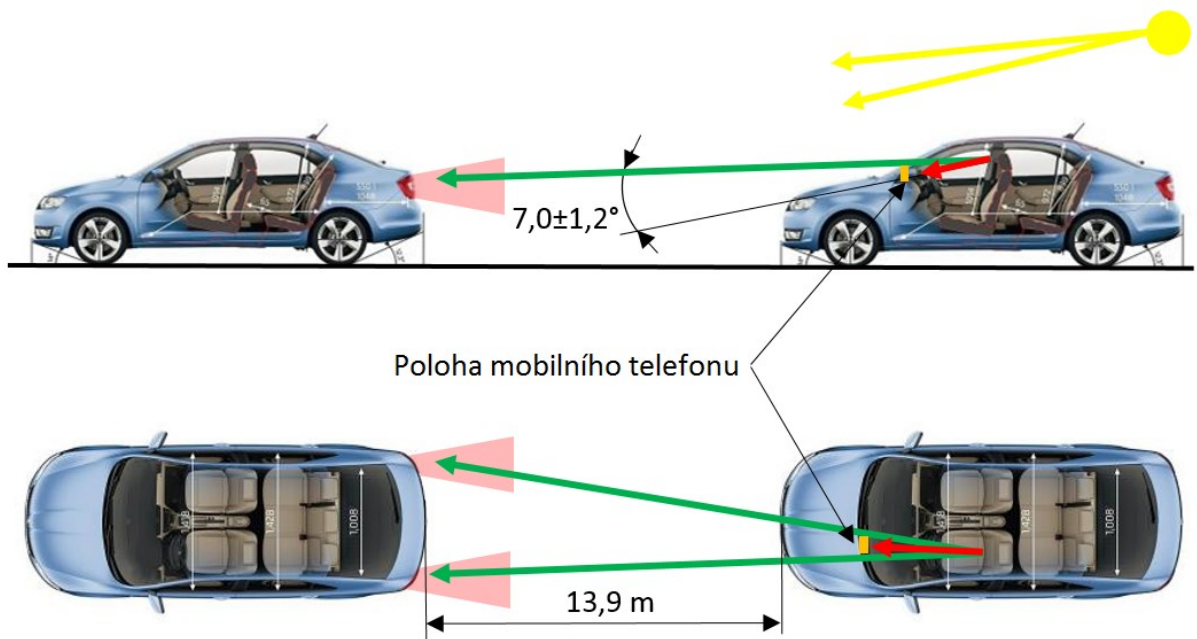
² Inkscape je open-source editor vektorové grafiky.

Počet válců		3
Maximální výkon	[kW]	70
Maximální točivý moment	[Nm]	160
Maximální rychlost	[km.h ⁻¹]	187
Zrychlení 0-100 km.h ⁻¹	[s]	11,0

Popis místa měření

Experimentální měření se uskutečnilo v areálu VVCD v Pardubicích. Zkušební plocha byla rovná a zpevněná. Světelné podmínky odpovídaly denní době od 9:00 do 19:00 hodin. V ranních hodinách bylo oblačné počasí, které postupně přešlo ve slunečné počasí. Intenzita světla neklesla pod 8 000 luxů. V průběhu všech měření nepršelo. Venkovní teplota se v průběhu všech měření pohybovala v rozmezí od 8 do 17 °C. Krycí skla brzdových světel byla bez nečistot. Čelní sklo vozidla s měřenou osobou bylo taktéž bez nečistot. Viditelnost vozidel byla výborná. Vzájemnou vzdálenost obou vozidel jsem zamýšlel stanovit na 27,8 metrů, což by odpovídalo vzdálenosti, kterou ujede vozidlo při rychlosti 50 km.h⁻¹ za dobu 2 sekund. Při ověřovacím měření jsem dospěl k názoru, že tato vzdálenost je příliš velká. Při odklonu pohledu by měřená osoba nezaznamenala optické podněty, proto jsem původní vzdálenost vozidel zkrátil na polovinu, tedy 13,9 metrů. Obrázek 17 znázorňuje situaci měřeného místa. Směr přímého pohledu řidiče je vyznačen zelenými šipkami a odkloněný pohled řidiče znázorňuje červená šipka. Za vztažnou výšku aktivních ploch brzdových světel jsem stanovil výšku střední vodorovné osy zadní svítilny. Směr slunečních paprsků je vyznačen žluto šipkou.

Pro měření reakční doby řidiče s odklonem pohledu jsem do zorného pole měřené osoby umístil mobilní telefon Apple iPhone 7, který zobrazoval „běžící“ symboly. Šířka plochy zobrazující symboly byla 100 mm a výška byla 40 mm. Pro výpočet úhlu odklonu pohledu jsem za vztažnou výšku mobilního telefonu stanovil výšku jeho střední vodorovné osy. Poloha tohoto aktivního prvku odpovídala odklonu pohledu o $7,0 \pm 1,2^\circ$. Odklon pohledu jsem nastavil ve vertikální rovině. Poloha mobilního telefonu odpovídala poloze Head-up displeje.



Obrázek 17: Nákres situace místa měření upraveno autorem [1]

Měřené osoby

Experimentálního měření se zúčastnilo celkem 11 osob. Z této skupiny bylo 7 mužů ve věkovém rozpětí 35 až 73 let a 4 ženy ve věkovém rozpětí 10 až 72 let. Cíleně zvolené osoby reprezentovaly skupinu řidičů s různými zkušenostmi v řízení motorového vozidla (profesionální řidič až „neřidič“, tj. osoba bez řidičského oprávnění nebo bez řidičské praxe).

Charakteristiky osob lze popsat následovně:

- Osoby s žádnými nebo minimálními zkušenostmi, které, ačkoliv vlastní řidičské oprávnění, s motorovým vozidlem nejezdí.
- Osoby využívající motorové vozidlo k soukromým účelům a se zkušenostmi, které odpovídají ročnímu nájezdu mezi 15 až 25 tisíc km.
- Osoby využívající motorové vozidlo k výkonu svého zaměstnání s ročním nájezdem v řádech statisíců km.
- Dospělé osoby, které nikdy nevlastnily řidičské oprávnění.
- Dítě ve věku 10 let.

Každé osobě jsem před začátkem měření přidělil jedinečný kód, který jsem následně zadával před začátkem každého měření. Tímto jsem zajistil anonymitu jednotlivých osob a zároveň snadnou identifikaci jednotlivých měření. Přehled měřených osob včetně doplňujících údajů uvádí Tabulka 8.

Tabulka 8: Přehled měřených osob

Kód měřené osoby	Věk	Muž/Žena	Km/rok	Zrak	Poznámka
1B1	41	muž	21 000	bezvadný	
2B2	39	žena	15 000	Bezvadný	
3C2	10	žena	0	Bezvadný	
4C2	72	žena	0	Zhoršený	
5B1	45	muž	15 000	Zhoršený	
6B1	73	muž	15 000	Zhoršený	Brýle při řízení
7B1	29	muž	20 000	Bezvadný	Dysgrafie
8B1	35	muž	15 000	Bezvadný	
9A1	62	muž	Statisíce	Zhoršený	
10C2	51	žena	0	bezvadný	
11B1	46	muž	15 000	bezvadný	

5.4 Stanovení reálných situací

Optický podnět

Pro měření reakční doby řidiče jsem definoval jednoduchý optický podnět. Tímto optickým podnětem byl okamžik rozsvícení aktivní plochy brzdových světel dle naprogramované sekvence. Tyto aktivní plochy odpovídaly velikosti *Standardní plochy* a *Zvětšené plochy*. Aktivní plocha vysoko umístěného brzdového světla měla pro všechny varianty experimentu po celou dobu měření konstantní velikost. Z důvodu možného ovlivnění výsledků měření jsem proto vysoko umístěnou brzdovou svítilnu vyloučil z hlavního měření vlivu velikosti aktivní plochy brzdových světel na reakční dobu řidiče. Tuto svítilnu jsem v průběhu měření použil pouze k potlačení očekávaní budoucí situace u měřené osoby a k simulaci naprogramovaných poruch zadního osvětlení vozidla.

Popis experimentu

Výsledky měření lze porovnávat pouze za předpokladu, že budou tato měření realizována za totožných podmínek. Dosáhnout totožných podmínek v reálném silničním provozu je velmi náročné. V průběhu řízení působí na řidiče vozidla velké množství různě významných ale i bezvýznamných podnětů, mezi kterými se musí řidič správně orientovat. Měřicí soustava by v takovém případě musela v průběhu celého testu zaznamenávat mnoho dalších parametrů ovlivňujících reakční dobu řidiče. Zároveň by bylo nutné vozidlem najezdit mnoho stejných

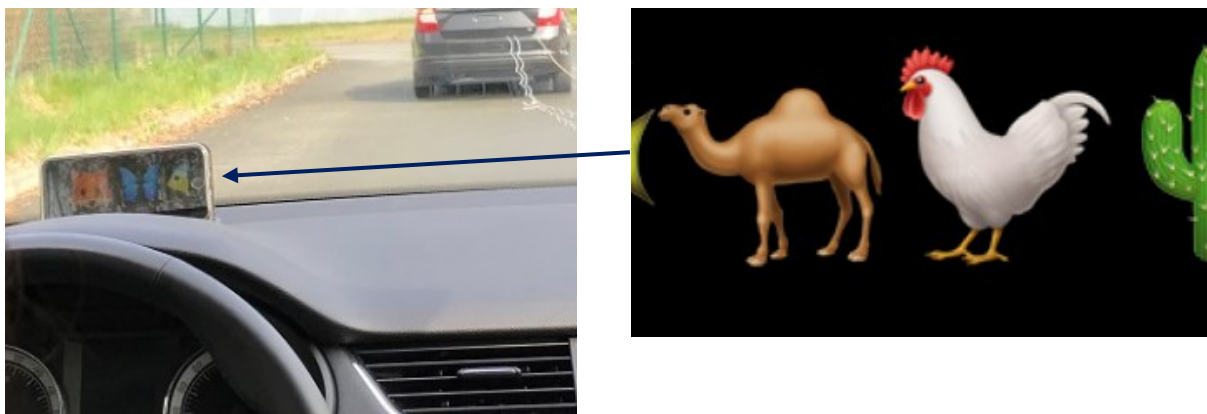
tras z důvodu nalezení dostatečného množství totožných podmínek, za kterých řidič vozidla reagoval na optický podnět. Proto jsem pro tento experiment zvolil statický test s kontrolovaným počtem vedlejších podnětů. Tyto podněty jsem předem určil a jejich výskyt během experimentu byl přesně stanoven.

Po spuštění experimentu *Řídící jednotka* dle naprogramované sekvence rozsvěcovala aktivní plochy brzdových světel po dobu 2 sekund. V průběhu jednoho měření bylo na měřenou osobu vysláno celkem 116 optických podnětů, které se střídaly dle naprogramované sekvence. Z celkového počtu těchto podnětů bylo celkem 40 optických podnětů se *Standardní plochou* brzdového světla, dále 40 optických podnětů se *Zvětšenou plochou* brzdového světla. Zbývajících 36 optických podnětů simulovalo poruchy zadního osvětlení vozidla. Interval mezi jednotlivými optickými podněty byl náhodný, zvolený programem od 1 do 5 sekund. Na tyto optické podněty musela měřená osoba reagovat zmačknutím tlačítka *Reakce* na *Ovladači*. Každé měření bylo rozděleno přestávkami. Vždy před začátkem 40tého a 80tého signálu nastala přestávka na dobu 45 sekund. Začátek a konec přestávky byl označen krátkým zvukovým signálem. Délka jedné varianty měření trvala od 12 do 15 minut.

V průběhu měření všech variant experimentů vznikaly podněty, jejichž úkolem bylo rozptýlení pozornosti měřené osoby. Jednalo se o již zmíněnou simulaci poškození některého ze zdrojů brzdových světel. Tento simulovaný stav odpovídal stavu, kdy aktivní plocha vybraného světla nebyla rozsvícena. Měřená osoba tak v průběhu měření nemohla spoléhat na zaměření svého zraku pouze do jednoho místa, například na levé brzdové světlo, ale musela sledovat celkovou situaci před vozidlem.

Druhým stanoveným podnětem byl trvalý odklon pohledu řidiče od sledovaného objektu. K vytvoření tohoto podnětu jsem použil již zmíněný mobilní telefon s nainstalovanou aplikací LED Banner³. Pomocí této aplikace jsem vytvořil na displeji mobilního telefonu řetězec „běžících“ symbolů. Sledováním tohoto „běžícího“ řetězce jsem zajistil fixaci pohledu měřené osoby s požadovaným odklonem pohledu.

³ LED Banner – aplikace pro operační systém iOS



Obrázek 18: Umístění mobilního telefonu s ukázkou „běžících“ symbolů

Určení reálných situací

Abych docílil přiblížení se k reálné situaci, zajistil jsem, že v průběhu celého měření bude sedět měřená osoba na místě řidiče ve vozidle umístěném v dané vzdálenosti za vozidlem vydávajícím optické podněty. Pro dosažení stanoveného cíle, tedy ověření vlivu velikosti aktivní plochy na reakční dobu řidiče, jsem zvolil tyto dvě reálné situace:

- **Měření při přímém pohledu na optický podnět** – tato situace simulovala konstantní jízdu za vozidlem jedoucím vpředu s přímým sledováním tohoto vozidla.
- **Měření při stanoveném úhlu odklonu pohledu od optického podnětu** – takto jsem simuloval situaci, kdy se u vpředu jedoucího vozidla rozsvítí brzdová světla právě v okamžiku, kdy má řidič jedoucí za tímto vozidlem odkloněný pohled například z důvodu, že je nucen sledovat jdoucí osobu podél vozovky nebo se sám rozhodne sledovat informace z Head-up displeje.



Obrázek 19: Poloha vozidel a měření s odklonem pohledu

Stanovení úkolů pro měřené osoby

Při přímém pohledu – měřená osoba musí pozorně sledovat situaci před vozidlem a v nejkratší možné době reagovat na optické podněty, které zaznamená na vozidle vpředu. Reakce na tyto podněty spočívá ve stisknutí tlačítka *Reakce* na *Ovladači*.

Při odklonu pohledu – měřená osoba musí po celou dobu měření sledovat „běžící“ symboly zobrazované na mobilním telefonu a správně tyto symboly identifikovat. S takto zafixovaným odklonem pohledu měřená osoba musí reagovat obdobným způsobem na stejné optické podněty jako při měření s přímým pohledem. Správnou identifikaci symbolů kontroluje operátor sedící na zadních sedadlech, který zároveň ovládá celou měřicí soustavu.

5.5 Ověření zapojení měřicí soustavy

Po nainstalování celé měřicí soustavy jsem před začátkem celého experimentu ověřil správnost zapojení této měřicí soustavy. Pro tento účel jsem tedy před začátkem měření spustil testovací sekvenci měření. Tímto jsem ověřil, že:

- probíhá záznam času měření,
- jsou všechna tlačítka správně zapojena a jejich funkce je bez závad,
- jsou všechna světla správně zapojena a svítí bez závad,
- se rozsvěcují všechny aktivní plochy brzdových světel ve správném pořadí a dle naprogramované sekvence,
- je zaznamenán vznik optického podnětu jako *Mezičas OP*,
- při reakci na optický podnět je zaznamenán vznik reakce jako *Mezičas RS*,
- je proveden výpočet reakční doby řidiče t_R ,
- dojde k označení záznamu popisem *Nereagováno*, pokud nebyl optický podnět zaznamenán do 2 sekund,
- dojde k vyhodnocení a označení chybného záznamu popisem *Chyba měření*, a to za situace, kdy bylo tlačítko *Reakce* trvale stisknuté ještě před vznikem optického podnětu.

Zároveň na začátku jednotlivých měření jsem nastavil ověření funkčnosti všech světel, které spočívalo v postupném rozsvícení a zhasnutí všech aktivních ploch brzdových světel. Tímto krokem jsem zajistil, že před spuštěním jednotlivých měření budou všechna světla funkční a měření nebude ovlivněno případnou poruchou vzniklou v průběhu předchozího měření. Na konci každého měření jsem také nastavil jeden ověřovací signál. Tento signál sloužil k záznamu

úmyslné *Chyby měření* z důvodu trvalého zmačknutí tlačítka *Reakce*, a zároveň k průběžnému vyhodnocení stability přesnosti měřicí soustavy.

Na začátku celého experimentu jsem také provedl kalibraci celé měřicí soustavy pomocí času v notebooku, který jsem synchronizoval se serverem `time.windows.com`. K výpisu a záznamu změřených hodnot jsem použil Serial Monitor z Arduino IDE⁴. Tento Serial Monitor jsem nastavil tak, aby každý zapsaný záznam byl označen časovým razítkem viz Obrázek 20. Porovnáním celkové délky času testovací sekvence dle *Měřicí jednotky* a celkové délky času dle časového razítka jsem stanovil odchylku měření. Vyhodnocení nejistot měření takto sestavené měřicí soustavy založené na platformě Arduino je uvedena v kapitole 6.3 této práce.

```
12:18:01.466 -> *****
12:18:01.536 -> Zadej kod osoby a stiskni hvězdičku, poté zadej číslo testu a stiskni křížek:
12:18:01.638 -> Osoba/Test: 123/DCBA.
12:18:16.669 -> Teplota: 24.74 °C Vlhkost: 35.96 %
12:18:16.705 -> Datum měření: 17.04.2021, čas: 12:18:07 26.50 °C (RTC)
12:18:16.772 -> *****
12:18:16.841 -> Popis      Čas [μs]   Podnět   Reakční doba [μs]   Hodnocení + počet
12:18:16.944 -> *****
12:18:19.810 -> Start          61142328
12:18:24.541 -> Mezičas OP     65877724    1
12:18:24.950 -> Mezičas RS     66272988    1    395388
12:18:27.244 -> Mezičas OP     68553504    2
12:18:27.650 -> Mezičas RS     68976784    2    423404
12:18:32.306 -> Mezičas OP     73627900    3
12:18:32.609 -> Mezičas RS     73925564    3    297788
12:18:33.114 -> Mezičas OP     74416828    4
12:18:33.149 -> Mezičas RS     74417480    4    22912    NEREAGOVÁNO 1
12:18:38.671 -> Mezičas OP     79976864    5
12:18:38.704 -> Mezičas RS     79977388    5    652      CHYBA MĚŘENÍ 1
```

Obrázek 20: Ukázka testu výpisu Serial Monitoru

⁴ Arduino IDE – vývojové prostředí usnadňující programování projektů.

6 EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ ROZDÍLU REAKČNÍ DOBY ŘIDIČE DLE STANOVENÝCH SITUACÍ A PODMÍNEK

6.1 Metodika experimentu

Všechna měření probíhala dle následujícího schématu:

- Záznam základních informací o měřené osobě a přidělení identifikačního kódu.
- Seznámení měřené osoby s průběhem experimentu a plněním jednotlivých úkolů.
- Aktivace vytvořeného nezávislého elektrického obvodu světel.
- Spuštění kontroly jednotlivých zdrojů světel tlačítkem *START ŘÍZENÍ*.
- Aktivace *Měřicí jednotky*.
- Zadání kódu osoby a kódu varianty probíhajícího měření do *Měřicí jednotky*.
- Výpis hlavičky testu: datum, čas, teplota a vlhkost na začátku měření následovaný výpisem zadaných kódů měřené osoby a varianty probíhajícího měření.
- Spuštění měření času tlačítkem *START MĚŘENÍ*.
- Spuštění sekvence optických podnětů opětovným stiskem tlačítka *START ŘÍZENÍ*.
- Při odklonu pohledu: Sledování „běžících“ symbolů zobrazovaných mobilním telefonem a jejich identifikace.
- Zmačknutí tlačítka *REAKCE* na *Ovladači* v okamžiku zaznamenání optických podnětů vysílaných vozidlem vpředu.
- Ukončení sekvence optických podnětů stisknutím tlačítka *KONEC MĚŘENÍ*.
- Ověření stability přesnosti měření trvalým zmačknutím tlačítka *REAKCE* před testovacím signálem.
- Vypsání závěrečných informací o průběhu měření: čas, teplota a vlhkost na konci měření, počet optických podnětů, počet chybných reakcí a počet nereagování na optický podnět.
- Uložení naměřených hodnot do samostatného souboru.
- Zpracování a vyhodnocení naměřených dat.

6.2 Varianty experimentu

Varianty experimentu odpovídají zvoleným reálným situacím dle kapitoly 5.4 této diplomové práce. Porovnával jsem tedy reakční dobu řidiče na různou velikost aktivní plochy brzdových světel. V tomto případě se jednalo o *Standardní plochu* a *Zvětšenou plochu* brzdových světel,

přičemž v prvním případě měřená osoba sledovala optický podnět přímo a ve druhém případě měla měřená osoba odkloněný pohled o stanovený úhel. Současně s takto odkloněným pohledem musela měřená osoba zaostřit svůj zrak na ohniskovou vzdálenost, která je rozdílná od ohniskové vzdálenosti místa vzniku optického podnětu. Tabulka 9 uvádí přehled a popis jednotlivých variant experimentu včetně simulací všech poruch zdrojů světla pro danou aktivní plochu brzdového světla.

Tabulka 9: Přehled a popis variant experimentů

Popis	LBS 1	LBS 2	3BS	PBS 2	PBS 1
Experimenty A 1 a B 1	Svítl	–	–	–	Svítl
Experimenty A 2 a B 2	–	Svítl	–	Svítl	–
Simulace poruchy 1	–	–	–	Svítl	–
Simulace poruchy 2	Svítl	–	–	–	–
Simulace poruchy 3	Svítl	–	Svítl	–	–
Simulace poruchy 4	–	–	Svítl	Svítl	–
Simulace poruchy 5	–	–	Svítl	–	–
Simulace poruchy 6	Svítl	–	Svítl	Svítl	Svítl

A 1 – přímý pohled na Standardní plochu

A 2 – přímý pohled na Zvětšenou plochu

B 1 – odklon pohledu od Standardní plochy

B 2 – odklon pohledu od Zvětšené plochy

LBS 1 – levá aktivní brzdová plocha se Standardní velikostí

LBS 2 – levá aktivní brzdová plocha se Zvětšenou velikostí

3BS – aktivní plocha vysoko umístěného brzdového světla

PBS 1 – pravá aktivní brzdová plocha se Standardní velikostí

PBS 2 – pravá aktivní brzdová plocha se Zvětšenou velikostí

6.3 Kalibrace měřící soustavy a nejistoty měření

Ověření přesnosti měřící soustavy metrologem by přesahovalo rozsah zadání této diplomové práce. Přesnost použité *Měřící jednotky*, byla závislá na frekvenci krystalu a délce měřeného časového úseku. Rozlišovací schopnost použité funkce ve zdrojovém kódu je u 16 MHz procesorů 0,004 milisekundy. Vzhledem k naměřeným hodnotám mohu prohlásit, že velikost rozlišení časového dílku nemá vliv na výsledky měření, a proto jsem s tímto rozlišením dále nepočítal.

Vzhledem ke krátké délce jednotlivého měření se klimatické podmínky uvnitř vozidla měřených osob měnily minimálně. V případě teploty se jednalo průměrně o 2,5 °C a v případě

vlhkosti o 3%. Mohl jsem tedy konstatovat, že klimatické podmínky neovlivnily výsledky měření. Meteorologické podmínky byly pro porovnávané testy konstantní, tedy také bez vlivu na výsledky měření. Celý experiment se zakládal na porovnání rozdílů dvou naměřených hodnot, které zahrnovaly stejné nejistoty měření. Z tohoto důvodu jsem výsledné hodnoty rozdílů reakčních dob Δt uvedl bez vyjádření nejistot měření.

Avšak abych mohl prohlásit jednotlivé výsledky reakčních dob za korektní a porovnat tyto výsledky s výsledky uváděnými v odborné literatuře, musel jsem měřicí soustavu zkalibrovat dle dostupných možností a zároveň u těchto výsledků uvést nejistotu měření.

Kalibrace měřicí soustavy

Vlastní proces kalibrace byl složen ze dvou kroků, které jsem provedl za pomoci testovací sekvence měření na začátku celého experimentu. V prvním kroku jsem tedy porovnal celkovou délku času testovací sekvence měření dle *Měřicí jednotky* a celkovou délku času dle synchronizovaného časového razítka v notebooku. Pomocí vztahu (4) jsem vypočítal **kalibrační konstantu k_t** vzniklou za dobu jedné milisekundy. Tato konstanta k_t byla shodná při všech ověřovacích měřeních, a proto jsem tuto konstantu zvolil jako referenční pro všechna další realizovaná měření. Dle naměřené maximální a minimální reakční doby řidiče tato kalibrační konstanta k_t ovlivnila výsledné hodnoty v rozmezí 0,06 až 0,12 (0,24⁵) milisekundy. Celkové výsledky měření jsem zvolil vyhodnotit na celé milisekundy. Mohl jsem tedy prohlásit kalibrační konstantu k_t za bezvýznamnou a při vyhodnocení jsem s touto konstantou dále nepočítal.

$$k_t = \frac{t_{MJ} - t_{Synch}}{t_{MJ}} \doteq 0,12 \cdot 10^{-3} \quad (4)$$

kde:

t_{MJ} – časový úsek dle *Měřicí jednotky*,

t_{Synch} – časový úsek dle synchronizovaného času v notebooku.

V druhém kroku jsem předčasným stisknutím tlačítka *Reakce* na *Ovladači* ověřil správnou funkci měřicí soustavy. V tomto případě byla *Měřicí jednotkou* vypočtena reakční doba 0,788 milisekund. Jednalo se o **zpoždění měřicí soustavy t_z** , které bylo nezbytné k vykonání příkazů zapsaných ve zdrojovém kódu *Měřicí jednotky*. Toto zpoždění měřicí soustavy

⁵ Hodnota vztahená k reakční době trvající 2 sekundy, tedy nereagování měřené osoby na Optický podnět.

ovlivnilo výsledky měření v rozmezí (0,04⁶) 0,08 až 0,16%. Na základě těchto výsledků jsem prohlásil toto zpoždění za bezvýznamné a také jsem v tomto případě s tímto zpožděním dále nepočítal.

Nejistoty měření

Jako míru nejistoty měření jsem zvolil standardní nejistotu typu A, která je rovna směrodatné odchylce σ . Tuto nejistotu jsem vypočítal na základě obecného vztahu (5) a následně jsem tuto nejistotu zobrazil v grafech porovnávajících změřenou reakční dobu s reakční dobou uváděnou v odborné literatuře.

$$u_A = \sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

kde:

u_A – standardní nejistota typu A

N – celkový počet naměřených hodnot veličiny x ,

x_i – i -tá hodnota veličiny x , kde $i = 1, 2, \dots, N$,

\bar{x} – aritmetický průměr naměřených hodnot veličiny x .

6.4 Postup při sběru a vyhodnocení naměřených dat

Použitá měřicí soustava nebyla vybavena záznamovým zařízením se zápisem dat na SD kartu, proto jsem k záznamu naměřených dat použil vývojové prostředí Arduino IDE. Celý průběh měření jsem zaznamenával pomocí Serial Monitoru v tomto vývojovém prostředí. Data jednotlivých měření jsem poté kopíroval do tabulkového softwaru MS Excel, kde jsem naměřená data zpracoval a následně tato data vyhodnotil ve formě tabulek a grafů uvedených v následujících částí této diplomové práce.

K vyhodnocení reakční doby t_R jednotlivých osob jsem jako hlavní ukazatel zvolil aritmetický průměr \bar{x} vypočítaný dle obecného vztahu (6). Stejným způsobem jsem postupoval v případě vyhodnocení rozdílu reakční doby Δt jednotlivých osob i celé skupiny a skupin osob.

⁶ Hodnota vztahená k reakční době trvající 2 sekundy, tedy nereagování měřené osoby na Optický podnět.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N x_i \quad (6)$$

kde:

N – celkový počet naměřených hodnot veličiny x ,

x_i – i -tá hodnota veličiny x , kde $i = 1, 2, \dots, N$.

6.5 Průběh měření

Všechna měření probíhala bez komplikací a dle plánovaného harmonogramu. Měřené osoby plnily požadované úkoly bezchybně. V případě varianty s přímým pohledem na optický podnět nevznikl žádný podnět, na který by měřené osoby nezareagovaly. Naopak v případě odklonu pohledu o $7,0 \pm 1,2^\circ$ a zaostření zraku na odlišnou ohniskovou vzdálenost, než bylo místo vzniku optického podnětu, docházelo k výraznému nárůstu optických podnětů, na které měřená osoba nezareagovala. Zároveň se většina měřených osob vyjádřila, že měření s odklonem pohledu bylo velmi náročné. Měřené osoby sice rozpoznávaly jednotlivé symboly, ale vykazovaly problém s rychlým vyslovením slova popisujícího daný symbol. Některé z osob popisovaly pocit, že se mobilní telefon pohybuje po palubní desce.

6.6 Výsledky měření

Tabulka 10 uvádí průměrné hodnoty reakční doby t_R v závislosti na velikosti aktivní plochy brzdových světel u jednotlivých osob. Tyto hodnoty jsem v kapitole 7.1 této diplomové práce doplnil o nejistotu měření a dále je porovnal s výsledky uváděnými v odborné literatuře.

Tabulka 11 uvádí Rozdíl reakční doby Δt jednotlivých osob při přímém pohledu a při odklonu pohledu o stanovený úhel. Dle očekávání byl tento rozdíl v případě přímého pohledu na optický podnět minimální, přičemž průměrná hodnota Rozdílu reakční doby Δt celé skupiny byla pouhé 2 milisekundy. Avšak v případě odklonu pohledu bylo kromě jednoho případu naměřeno zrychlení reakční doby řidiče t_R , a to ve prospěch *Zvětšené plochy* brzdových světel. Průměrná hodnota Rozdílu reakční doby Δt celé skupiny byla v případě odklonu pohledu 110 milisekund.

Tabulka 10: Přehled průměrných reakčních dob t_R jednotlivých osob

Kód měřené osoby	Kód varianty měření			
	A 1	A 2	B 1	B 2
	Průměrná reakční doba t_R [ms]			
1B1	381	382	753	708
2B2	384	410	994	663
3C2	563	585	1020	967
4C2	619	593	970	909
5B1	344	349	733	610
6B1	495	471	769	812
7B1	296	315	529	504
8B1	507	501	661	602
9A1	357	356	943	744
10C2	379	394	774	746
11B1	312	304	884	559

A 1 – přímý pohled na Standardní plochu

A 2 – přímý pohled na Zvětšenou plochu

B 1 – odklon pohledu od Standardní plochy

B 2 – odklon pohledu od Zvětšené plochy

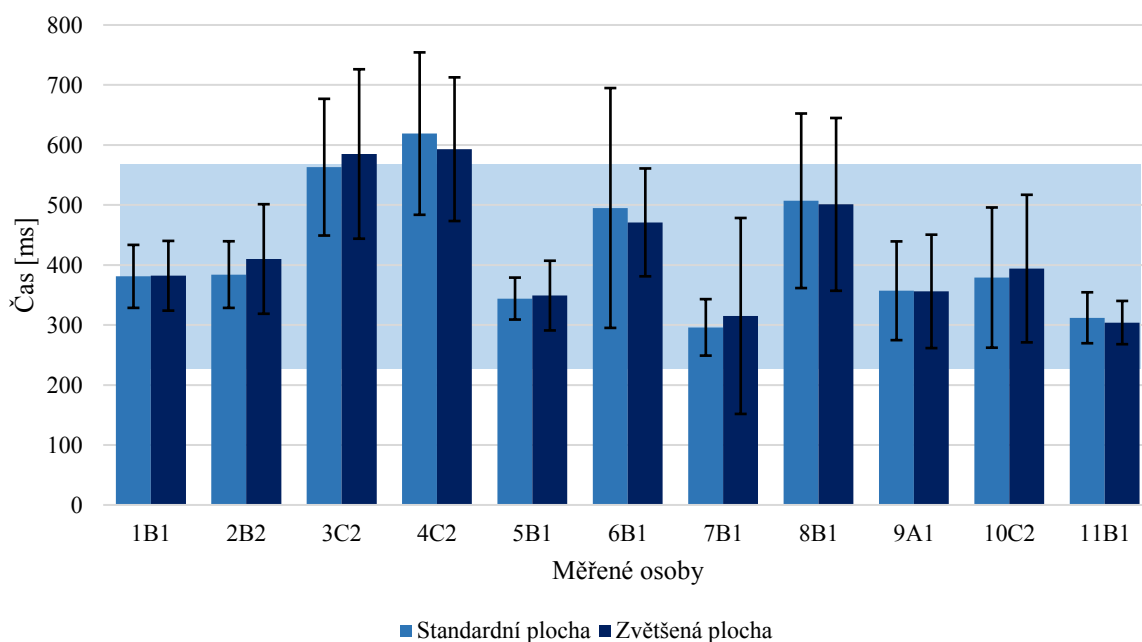
Tabulka 11: Přehled rozdílů reakčních dob Δt v závislosti na velikosti aktivní plochy

Kód měřené osoby	Rozdíl reakční doby Δt [ms]	
	Přímý pohled	Odklon pohledu o $7,0 \pm 1,2^\circ$
1B1	-1	45
2B2	-26	331
3C2	-22	53
4C2	26	61
5B1	-5	123
6B1	24	-43
7B1	-19	25
8B1	6	59
9A1	1	199
10C2	-15	28
11B1	8	325

7 VYHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH DAT

7.1 Vyhodnocení reakční doby řidiče

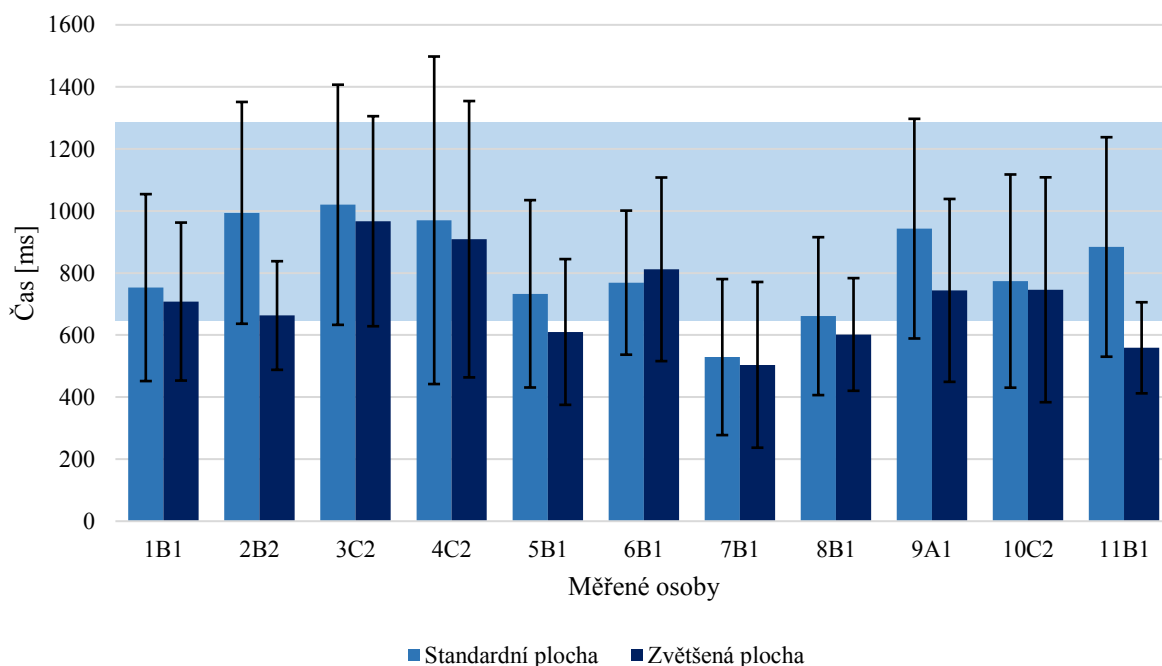
Obrázek 21 zobrazuje graf porovnání reakčních dob jednotlivých osob při přímém pohledu na optický podnět. Reakční dobu řidiče t_R na *Standardní plochu* a *Zvětšenou plochu* brzdových světel jsem doplnil tolerancí dle vypočítané nejistoty měření. Rozpětí reakční doby řidiče dle odborné literatury pro přímý pohled jsem v grafu vyznačil světle modrou oblastí, která odpovídá 220 až 580 milisekundám. Z tohoto grafu je patrné, že Reakční doba řidiče t_R téměř všech osob je v této oblasti. V případě osob 3C2 a 4C2 se Reakční doba řidiče t_R pohybovala v okolí horní hranice reakční doby dle odborné literatury. Nutno dodat, že uvedené osoby nikdy nevlastnily řidičské oprávnění a jejich reakční schopnosti tedy nebyly dostatečně vytrénované. Zároveň lze u všech měřených osob zaznamenat minimální rozdíly reakčních dob Δt na jednotlivé aktivní plochy brzdových světel. Tímto experimentem bylo zároveň ověřeno, že výsledky měření odpovídají očekávaným hodnotám.



Obrázek 21: Graf – reakční doba řidiče t_R při přímém pohledu

Obrázek 22 zobrazuje graf s porovnáním reakčních dob jednotlivých osob při stanoveném odklonu pohledu od optického podnětu. Reakční doby řidiče t_R na *Standardní plochu* a *Zvětšenou plochu* brzdových světel jsem doplnil tolerancí dle vypočítané nejistoty měření. Rozpětí reakční doby řidiče dle odborné literatury se stanoveným odklonem pohledu jsem v grafu opět vyznačil světle modrou oblastí, která odpovídá 630 až 1280 milisekundám. Z tohoto grafu je patrné, že žádná z měřených osob neměla průměrnou reakční dobu řidiče t_R

delší, než uvádí odborná literatura. Nelze si nevšimnout čtyř osob, jejichž reakční doba byla dokonce pod dolní hranicí uváděnou v odborné literatuře. Zároveň lze pozorovat rozdíly v Reakční době řidiče t_R na jednotlivé aktivní plochy brzdových světel. Kromě jedné osoby došlo vždy ke zrychlení Reakční doby řidiče t_R při reakci na *Zvětšenou plochu* brzdových světel. I tímto experimentem bylo ověřeno, že výsledky měření odpovídají očekávaným hodnotám.



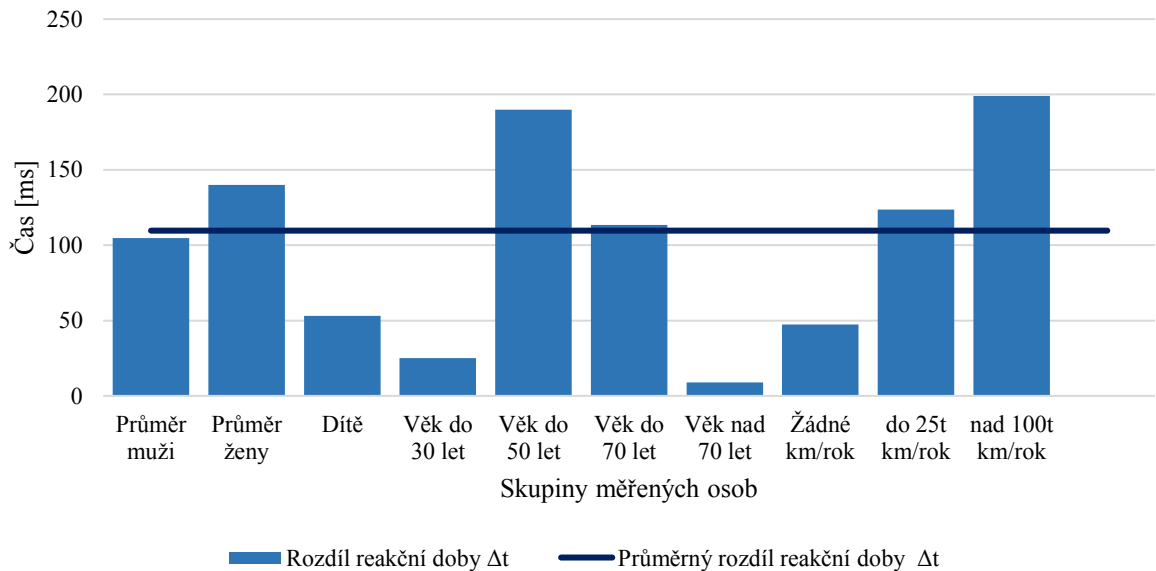
Obrázek 22: Graf – Reakční doba řidiče t_R při odklonu pohledu

7.2 Vyhodnocení Rozdílu reakční doby řidiče Δt

V předchozí kapitole diplomové práce jsem vyhodnotil Reakční dobu řidiče t_R jednotlivých osob. Vyhodnoceny byly obě varianty, tedy při přímém pohledu na optický podnět a při stanoveném odklonu od optického podnětu. Z tohoto vyhodnocení vyplynulo, že k významnému Rozdílu reakční doby řidiče Δt došlo především u varianty se stanoveným odklonem pohledu od optického podnětu. Z tohoto důvodu jsem všechna následující vyhodnocení prováděl pouze pro variantu se stanoveným odklonem pohledu.

Obrázek 23 zobrazuje graf Rozdílu reakční doby řidiče Δt dle stanovených skupin osob, přičemž průměrný Rozdíl reakční doby řidiče Δt pro celou skupinu měřených osob byl 110 milisekund. Tyto Rozdíly reakčních dob Δt určují, o jaký časový úsek se zrychlí/zpomalí reakční doba řidiče v případě, že by *Standardní plocha* brzdových světel byla nahrazena *Zvětšenou plochou*. Z kladných hodnot je patrné, že by v tomto případě došlo u všech skupin ke zrychlení průměrné reakční doby řidiče. Lze si také všimnout, že u mužů, žen, řidičů s průměrným nájездem do 25 tisíc km za rok a osob ve věku do 70 let se zrychlení reakční doby

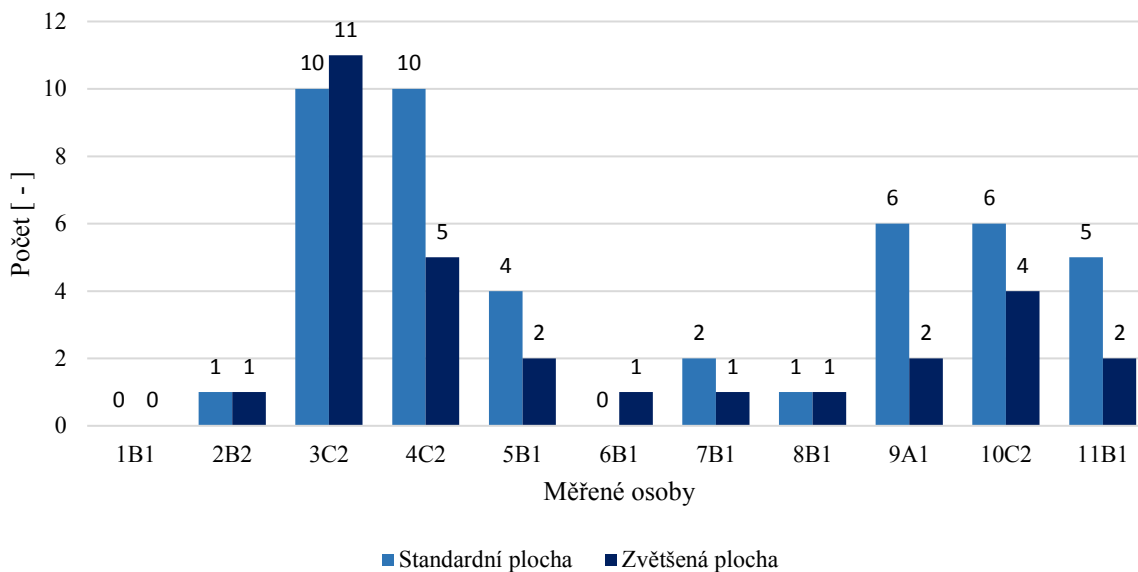
řidiče pohybuje v okolí průměrné hodnoty celé skupiny osob. Zároveň nelze přehlédnout skupiny osob s věkem mezi 50 a 70 lety a osoby s nájazdem nad 100 tisíc km za rok, u kterých došlo k nejvýraznějšímu zrychlení reakční doby řidiče. Neočekávaným výsledkem je skupina osob s věkem od 18 do 30 let, kdy jejich zrychlení reakční doby bylo podprůměrné vzhledem k průměrné hodnotě celé skupiny měřených osob. Tento výsledek však mohl způsobit zdravotní handicap měřené osoby.



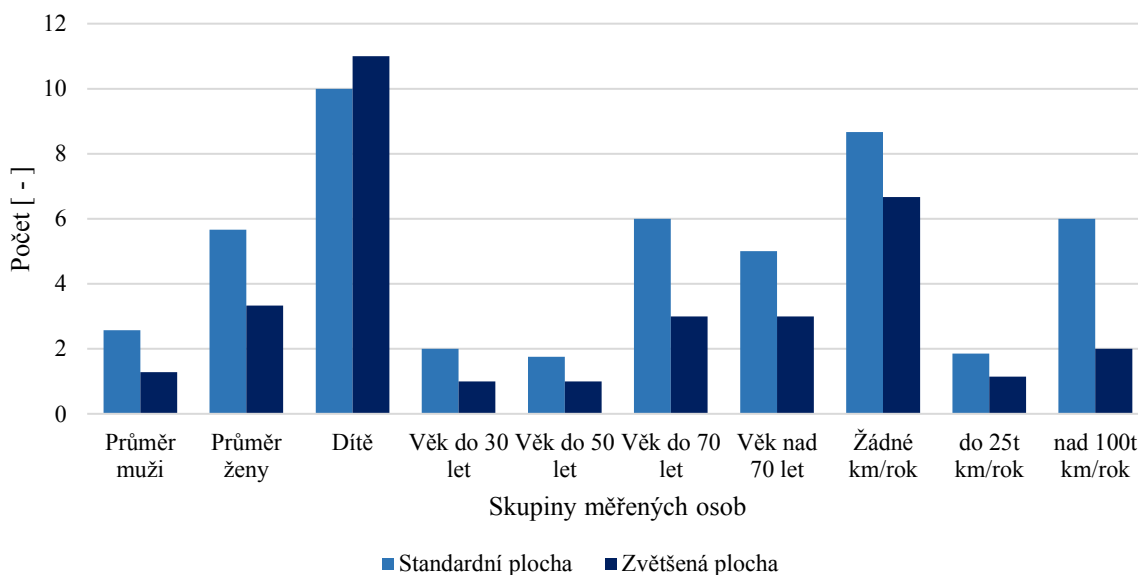
Obrázek 23: Graf – Rozdíl reakční doby při odklonu pohledu dle skupin osob

7.3 Vyhodnocení možného vzniku dopravní nehody

Obrázek 24 a Obrázek 25 zobrazují grafy porovnávající počty optických podnětů, na které měřené osoby měly zareagovat a nezareagovaly. Jak již bylo uvedeno, porovnání jsem provedl pouze pro variantu se stanoveným odklonem pohledu, při kterém právě docházelo k tomuto nezareagování na optický podnět. Vzhledem k délce trvání optického podnětu, která byla 2000 milisekund a vzdálenosti vozidel 13,9 m, je pravděpodobné, že při rychlosti vozidel 25 km.h⁻¹ by měřené osoby v tomto případě nedokázaly zareagovat tak, aby odvrátily dopravní nehodu. Přestože pro některé osoby působila vzdálenost obou vozidel jako dostatečná, rychlost obou vozidel 50 km.h⁻¹ by v takovém případě znamenala téměř jistý vznik nehodového děje. Obrázek 25 zobrazuje počet nezareagování na optický podnět pro vybrané skupiny osob. Zde je patrné, že tento počet je nižší v případě, kdy je optický podnět vysílán přes *Zvětšenou plochu* brzdových světel. Naopak u dítěte došlo k opačné situaci, která mohla být způsobena příliš vysokým soustředěním a snahou splnit bezchybně všechny úkoly stanovené pro měřené osoby.



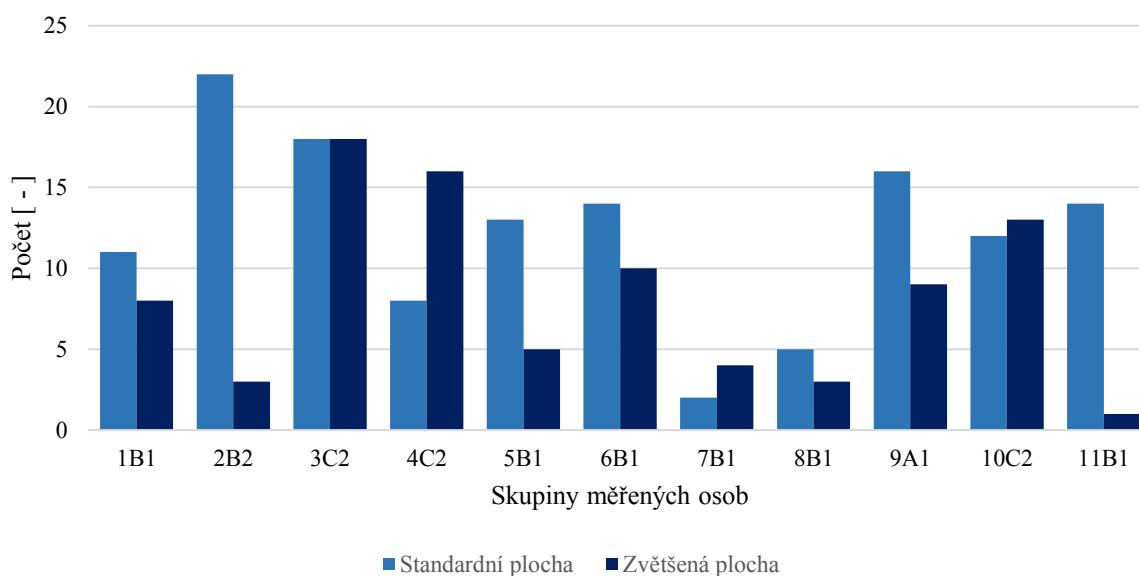
Obrázek 24: Graf – Nereagování na podnět při odklonu pohledu dle měřených osob



Obrázek 25: Graf – Nereagování na podnět při odklonu pohledu dle skupin osob

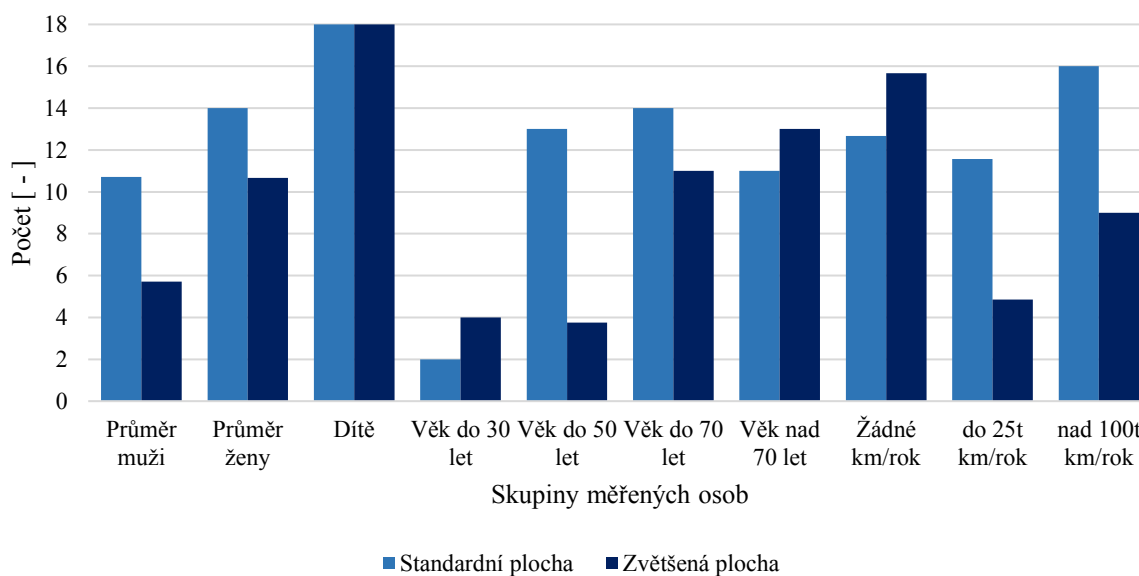
Obrázek 26 zobrazuje graf porovnávající jednotlivé osoby a počet pravděpodobného vzniku nehodového děje. Pro vyhodnocení jsem předpokládal rychlost obou vozidel $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Aby nedošlo ke vzniku nehodového děje, musí měřená osoba reagovat na optický podnět v kratší době než 1000 milisekund. K vypočítané reakční době každé osoby jsem přičítal horní hranici doby svalové reakce, která je uvedena v odborné literatuře, tedy 210 milisekund. Uvedený graf tedy zobrazuje všechny reakční doby řidiče, které byly delší než 1000 milisekund. Z grafu je patrné, že ve většině případů došlo ke snížení počtu pravděpodobného vzniku nehodového děje v případě reakce na optický podnět vysílaný *Zvětšenou plochu* brzdových světel. U osob 4C2 a 10C2 došlo naopak ke zvýšení počtu pravděpodobných nehodových dějů. Důvodem mohla být skutečnost, že tyto osoby nemají žádné řidičské zkušenosti. Obdobná situace byla i u osoby

7B1. Zde mohl být příčinou zdravotní handicap této osoby, nicméně počet pravděpodobných nehod u této osoby patří mezi nejnižší. Naopak u osob 2B2, 11B1 a 5B1 došlo k výraznému snížení počtu pravděpodobných nehodových dějů při reakci na optický podnět vyslaný *Zvětšenou plochou* brzdových světel.



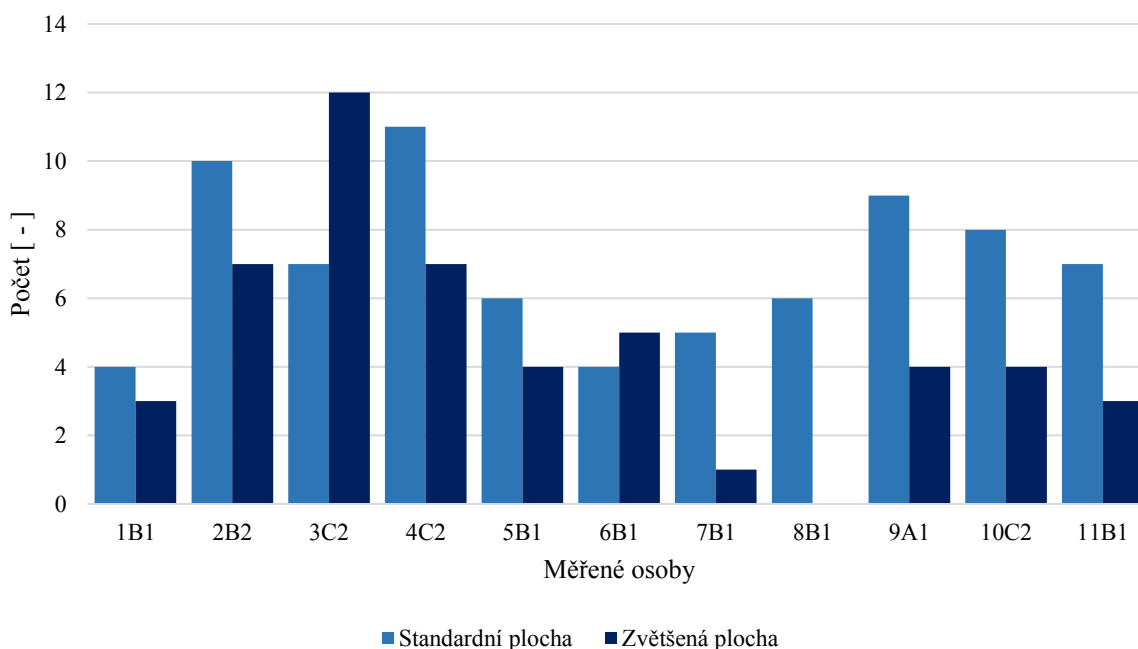
Obrázek 26: Graf - Neodvrácení nehody při odklonu pohledu dle osob

Obrázek 27 zobrazuje graf porovnávající vybrané skupiny osob a počet pravděpodobného vzniku nehodového děje. Podmínky pro vyhodnocení jsem zvolil totožné s podmínkami z předchozího odstavce.



Obrázek 27: Graf – Neodvrácení nehody při odklonu pohledu dle skupin osob

Obrázek 28 zobrazuje graf porovnávající jednotlivé osoby a počet pravděpodobného vzniku nehodového děje při reakci pouze na simulované závady na zadním osvětlení vozidla. Během měření bylo vysláno celkem 15 signálů simulující chybu zadního osvětlení vozidla se *Standardní plochou* brzdových světel a stejných 15 signálů se *Zvětšenou plochou* brzdových světel. Šestou variantu závady jsem do přehledu nezahrnul. V tomto případě nelze hovořit o závadě, naopak byla rozsvícena všechna brzdová světla včetně vysoko umístěného brzdového světla. Podmínky pro vyhodnocení jsem zvolil také totožné s podmínkami z předchozího odstavce. I v tomto posledním vyhodnocení se potvrdilo, že u většiny osob došlo ke snížení počtu pravděpodobného vzniku nehodového děje, pokud byl optický signál vyslán *Zvětšenou plochou* brzdových světel.



Obrázek 28: Graf – Neodvrácení nehody při odklonu pohledu a poruše osvětlení

8 DISKUZE ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ

Zvolenými experimenty jsem ověřil průměrnou reakční dobu skupiny měřených osob při přímém pohledu na optický podnět a při odkloněném pohledu od optického podnětu o stanovený úhel. V obou případech se průměrná reakční doba skupiny pohybovala ve stejném rozpětí, které uvádí literatury [14] a [24]. Je nutno dodat, že do vypočtené průměrné reakční doby jsem započítal pouze situace, kdy měřená osoba na optický podnět stihla zareagovat ještě před okamžikem vzniku nehodového děje, tedy v době kratší než 2000 milisekund. Optické podněty, na které měřená osoba nezareagovala, jsem do výpočtu této průměrné reakční doby nezahrnul. Vznik těchto situací, kdy měřená osoba nezareagovala na optický podnět, nastával pouze v případě měření s odkloněným pohledem od optického podnětu. V odborné literatuře se mi nepodařilo najít přesné podmínky odklonu pohledu, za kterého bylo měření realizováno. Lze se tedy domnívat, že všechny měřené osoby na optické podněty vždy reagovaly a ohnisková vzdálenost jejich oka byla zaostřena na stejnou vzdálenost optického podnětu i sledovaného předmětu. Tento rozdíl v počtu nezareagování na optický podnět proti výsledkům, kterých jsem dosáhl, mohl být způsoben mnou stanovenými podmínkami pro odklon pohledu, kdy jsem stanovil odlišnou ohniskovou vzdálenost zaostřeného oka na optický podnět a sledovaný předmět. Zároveň zde mohla sehrát určitou roli i míra zvýšené psychické zátěže, kdy měřená osoba musela rozpoznávat jednotlivé symboly.

Experimentálně ověřený rozdíl reakční doby řidiče v závislosti na velikosti aktivní plochy brzdových světel byl u přímého pohledu na optický podnět minimální. Tento výsledek jsem očekával; sloužil především k validaci zjištěných výsledků měření. Odlišnou situaci jsem zaznamenal při měření za stanoveného odklonu pohledu. Na základě zjištěných výsledků došlo ke zrychlení reakce na podnět vysílaný přes zvětšenou aktivní plochu brzdových světel, přičemž zvětšení této plochy dosahovalo 3,4násobek velikosti aktivní plochy u sériově vyráběného vozidla. Průměrné **zrychlení reakce** celé skupiny měřených osob **bylo 110 milisekund**. Domnívám se dle získaných výsledků, že se zvětšováním velikosti aktivní plochy brzdových světel by narůstalo i zrychlení reakce na tento optický podnět, a to z důvodu lepšího upoutání pozornosti řidiče větší plochou měnící kontrast objektu v zorném poli řidiče.

Z naměřených dat jsem dále vyhodnotil počet optických podnětů mimo podněty simulující poškozené zadní osvětlení vozidla, na které měřená osoba nezareagovala. Toto by v reálných podmínkách při rychlosti $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ způsobilo vznik dopravní nehody. Následně jsem výsledky rozšířil i o případy, kdy celková reakční doba řidiče, tedy včetně svalové reakce, byla delší než 1000 milisekund. V takovém případě by za těchto podmínek bylo pro řidiče vozidla velmi

náročné odvrátit případnou dopravní nehodu. Předpokládal jsem tedy, že i v tomto případě by došlo ke vzniku dopravní nehody, avšak s menšími následky než v případě, kdy měřená osoba na optický podnět nezareagovala. Nepodařilo se mi nalézt obdobné výsledky od jiných autorů, se kterými bych mohl mé výsledky porovnat, mohu tedy pouze zhodnotit mnou zjištěné výsledky. Průměrný **počet nezareagování** na optický podnět pro celou skupinu měřených osob v případě optického podnětu vyslaného přes *Zvětšenou plochu* brzdových světel **se snížil o 33%** proti podnětu vyslanému přes *Standardní plochu* brzdových světel. Zajímavým ukazatelem je průměrný maximální počet nereagování na optický podnět u skupin dítě a osoby s nulovými řidičskými zkušenostmi. Tyto osoby v experimentu reprezentovaly řidiče začátečníky bez dostatečné praxe v řízení motorového vozidla. Experiment tedy potvrdil důležitost dostatečné řidičské praxe a vytrénovanosti periferního vidění pro bezpečný provoz motorového vozidla. Průměrný **počet neodvrácení nehodového děje** při reakci na optický podnět vyslaný přes *Zvětšenou plochu* brzdových světel kopíroval předchozí situaci a také **se snížil o 33%**.

Při vyhodnocení naměřených dat jsem se také zaměřil pouze na optické podněty simulující poruchu zadního osvětlení motorového vozidla. Podmínky pro vyhodnocení jsem opět stanovil při rychlosti vozidel $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Jednalo by se tedy o jistý vznik dopravní nehody při nereagování na optický podnět. Dále jsem doplnil podmínky o případy, kdy celková reakční doba řidiče včetně svalové reakce byla delší než 1000 milisekund. I v tomto případě se průměrný **počet neodvrácení nehodového děje** při reakci na optický podnět vyslaný přes *Zvětšenou plochu* brzdových světel **snížil o 35%**. Nutno dodat, že maximální počet optických podnětu simulujících poruchu zadního osvětlení motorového vozidla, na které měřená osoba nezareagovala byl 80% z celkového počtu 15 optických podnětů. Tyto výsledky zároveň potvrzují důležitost bezchybné funkce zadního osvětlení motorového vozidla pro zvýšení bezpečnosti silničního provozu.

Hlavní přínos mé práce shledávám ve výsledcích měření, které potvrzují, že velikost aktivní plochy brzdových světel má podstatný vliv na reakční dobu řidiče a je tedy vhodné se touto problematikou zabývat a tyto výsledky dále zpřesňovat na základě dalších experimentů. Pro zobecnění výsledků je třeba realizovat statisticky významný počet měření pro dané skupiny řidičů.

V případě opakování experimentu bych opět volil statický test. Správnost tohoto rozhodnutí potvrdily výsledky, jelikož při dynamickém testu by bylo nutné zajistit odvrácení vzniku dopravní nehody testovaných vozidel. Souhlasím s tvrzením, že zkušený řidič nereaguje

automaticky plným sešlápnutím brzdového pedálu při každém rozsvícení brzdových světel vpředu jedoucího vozidla, ale vyhodnocuje celou situaci; např. vzájemné přibližování se vozidel. Na základě těchto informací zkušený řidič přizpůsobí intenzitu sešlápnutí brzdového pedálu. Tento experiment měl ověřit reakční dobu řidiče na nečekanou situaci vyžadující aktivní brzdění. Průběh dalších experimentů bych volil shodně s již realizovaným experimentem, kromě dále uvedených poznatků:

- V průběhu celého měření bych u měřených osob zvýšil optickou a psychickou zátěž například doplněním podnětu vysílaným směrovými světly. Měřená osoba by tedy nereagovala automaticky na každý optický podnět, ale musela by jednotlivé optické podněty před reakcí vyhodnotit.
- Na měřenou osobu bych umístil zařízení ke sledování pohybu očí, čímž bych lépe vyhodnotil skutečný odklon pohledu před vlastní reakcí na optický podnět.
- Maximalizoval bych *Zvětšenou plochu* brzdových světel využitím průběžné zadní obrysové svítilny.
- Experiment bych realizoval při různých klimatických podmínkách včetně tmy. Domnívám se, že reakční doba řidiče za tmy by v případě *Zvětšené plochy* brzdových světel byla také rychlejší.
- Měnil bych vzdálenost předmětu určujícího stanovený odklon pohledu, čímž bych mohl vyhodnotit vliv této vzdálenosti na reakční dobu řidiče.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo ověřit vliv velikosti aktivní plochy brzdových světel na reakční dobu řidiče. V teoretické části této práce jsem na základě platné legislativy zhodnotil, že výrobci vozidel jsou omezeni pouze polohou jednotlivých svítilen a svítivostí vyzařovaného světla. Velikost jednotlivých svítilen není současnou legislativou nijak upravena. Můžeme se tedy v silničním provozu setkat s vozidly, jejichž zadní obrysové svítilny jsou umístěny přes celou šířku vozidla a brzdové svítilny zabírají výrazně menší plochu. Vzhledem ke neustálému napodobování designových prvků jednotlivými výrobci automobilů se s tímto konstrukčním řešením zadní obrysové svítilny setkáváme stále častěji.

Pro ověření vlivu velikosti aktivní plochy brzdových světel na reakční dobu řidiče jsem zvolil statický test, kdy jsem umístil dvě vozidla ve stanovené vzdálenosti od sebe. Dále jsem určil podmínky, metodiku experimentu a vybral skupinu osob, která reprezentovala výběr řidičů s různými zkušenostmi, různým věkem a pohlavím. Vliv velikosti aktivní plochy brzdových světel jsem zkoumal v případě přímého pohledu na optický podnět a při stanoveném odklonu pohledu od optického podnětu. Získaná data jsem poté vyhodnotil.

V případě přímého pohledu na optický podnět byl vliv velikosti aktivní plochy brzdových světel zanedbatelný. Avšak v případě stanoveného odklonu pohledu od optického podnětu byl vliv velikosti aktivní plochy brzdových světel významný, a to ve prospěch zvětšené aktivní plochy brzdových světel. Z tohoto důvodu jsem všechna další vyhodnocení prováděl pouze pro variantu se stanoveným odklonem pohledu od optického podnětu. Pozitivní vliv měla velikost aktivní plochy brzdových světel v případech, kdy měřená osoba optický podnět nezpозorovala, a tudíž na tento optický podnět ani nereagovala. Tato situace by bezpochybně vedla ke vzniku dopravní nehody. Zvětšená aktivní plocha brzdových světel počet nezpозorovaných optických podnětů snižovala. Obdobná situace byla v případě vyhodnocení pravděpodobného vzniku dopravní nehody. Mohl jsem tedy konstatovat, že pro bezpečnost silničního provozu má větší přínos zvětšování aktivní plochy brzdových světel než zvětšování aktivní plochy zadních obrysových světel. V průběhu experimentu jsem také simuloval možné poruchy zadního osvětlení vozidel. Při vyhodnocení reakční doby řidiče v případě poruchy některého ze zdrojů světla se opět projevil vliv velikosti aktivní plochy brzdových světel, a to ve prospěch zvětšené aktivní plochy brzdových světel.

Dosažené výsledky prokázaly důležitost této problematiky a bylo by vhodné tyto výsledky doplnit o měření za tmy, při různé vzdálenosti sledovaného předmětu a optického podnětu, za

zhoršených podmínek ve vozidle, tedy se zvýšenou hlukovou a teplenou zátěží apod. Toto měření by ovšem přesahovalo rozsah zadané diplomové práce.

Tímto jsem naplnil cíl zadané práce a ověřil, že velikost aktivní plochy brzdových světel má výrazný vliv na reakční dobu řidiče, který se pozitivně projevuje s větší velikostí této plochy. Význam těchto dosažených výsledků spatřuji v tom, že mohou sloužit výrobcům automobilů jako jeden z podkladů pro posouzení správnosti současného trendu v designu zadního osvětlení silničních vozidel a zvážení, zda u budoucích návrhů konstrukčního řešení zadního osvětlení upřednostnit bezpečnost před vlastním designem. Zároveň mohou sloužit i tvůrcům legislativy jako jeden z podkladů pro legislativní úpravu velikosti jednotlivých aktivních ploch zadního osvětlení vozidel. V případě legislativní úpravy spatřuji důležitý význam těchto výsledků v zavedení signalizace poruchy brzdových světel, která dle platné legislativy není povinná.

Tuto práci jsem zpracoval s velkým zájmem o danou problematiku. Naplněním mého osobního cíle by v tomto případě bylo, pokud by výrobci vozidel nebo tvůrci legislativy přihlédlí ke zjištěným skutečnostem, zajistili ověření výsledků a na základě zjištěných závěrů přistoupili ke změně současného poměru ve velikostech zadních obrysových a brzdových svítilen. Protože byť jediná odvrácená dopravní nehoda nemluvě o ztraceném lidském životě dává této změně smysl.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HELLA.COM, *Multifunkční světla*. [online]. Copyright © HELLA GmbH & Co. KGaA. Dostupné z <https://www.hella.com/hella-cz/cs/Multifunkcni-svetla-1042.html>
- [2] GARAŽ.CZ, *První dojmy: Inovované Audi Q5 kráčí cestou světla. Přidáte se k němu?* [online]. Copyright © 1996–2021, Seznam.cz, a.s. Dostupné z https://www.garaz.cz/clanek/inovovane-audi-q5-kraci-cestou-svetla-pridate-se-k-nemu-21005551#dop_ab_variant=0&dop_source_zone_name=autoweb.sznhp.box&dop_req_id=Z05U5MMlqt7-202101310918&source=hp&seq_no=2&utm_campaign=&utm_medium=z-boxiku&utm_source=www.seznam.cz
- [3] ČESKO. Zákon č. 56/2001, Zákon o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. Sbírka zákonů České republiky.
- [4] ČESKO. Vyhláška č. 341/2014 Sb., Vyhláška o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích.
- [5] Předpis EHK/OSN č. 48, Jednotná ustanovení pro schvalování typu vozidel z hlediska montáže zařízení pro osvětlení a světelnou signalizaci.
- [6] Předpis EHK/OSN č. 7, Jednotná ustanovení pro schvalování předních a zadních obrysových svítlen, brzdových svítlen a doplňkových obrysových svítlen motorových vozidel (kromě motocyklů) a jejich přípojných vozidel.
- [7] Předpis EHK/OSN č. 37, Jednotná ustanovení pro schvalování žárovek určených k použití ve schválených celcích svítlen/světlometů motorových vozidel a jejich přípojných vozidel.
- [8] HELLA CZ, *Hella – zákonná ustanovení podle předpisu EHK č. 48*, [online]. Copyright © HELLA GmbH & Co. KGaA. [cit. 13.02.2021]. Dostupné také z https://stk-spara.cz/repository/images/soubory/673_Legal_Requirements_Brochure_HELLA_CZ.pdf
- [9] AUDI.CZ, *Audi RS e-tron GT*, [online]. © 2021. Porsche Česká republika s.r.o. Dostupné z <https://www.audi.cz/e-tron-rozcestnik/e-tron-rs-gt/design-a-filozofie>

- [10] VOLKSWAGEN-NEWSROOM.COM, *Signal lights – Switching signature tail light*, [online]. © Volkswagen 2021. Dostupné z <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/evolution-of-light-4261/signal-lights-switching-signature-tail-light-4271>
- [11] ŠIKL, Radovan. *Zrakové vnímání*. Praha: Grada, 2012. Psyché (Grada). ISBN 978-80-247-3029-5.
- [12] JELÍNEK, Jan a Vladimír ZICHÁČEK. *Biologie pro střední školy gymnazijního typu*. Olomouc: Fin Publishing, 1996. ISBN 80-86002-01-2.
- [13] WIKISKRIPTA.EU *Oko (biofyzika)*. [online]. WikiSkripta, projekt 1. lékařské fakulty a Univerzity Karlovy. Dostupné z [http://www.wikiskripta.eu/w/Oko_\(biofyzika\)](http://www.wikiskripta.eu/w/Oko_(biofyzika))
- [14] Doc. Ing PLCH, Jiří, CSc. *Reakční doba řidiče*. Společnost pro rozvoj veřejného osvětlení. Podzimní setkání. Jablonec nad Nisou. 4-5. listopadu 2010
- [15] ZDN.CZ *Vizuální vnímání řidiče z hlediska psychologie*. [online]. Copyright 2021 Internet Info, s.r.o. [cit. 14.02.2021]. Dostupné z: <http://www.zdn.cz/clanek/sestra/vizualni-vnimani-ridice-z-hlediska-psychologie-456627>
- [16] NOVOTNÝ, Ivan a Michal HRUŠKA. *Biologie člověka*. 3. rozš. a upr. vyd. Praha: Nakladatelství Fortuna, 2002, c1995. ISBN 80-7168-819-3.
- [17] ROZSÍVAL, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Galén, c2006. ISBN 80-7262-404-0.
- [18] AUTRATA, Rudolf. *Nauka o zraku*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2002. ISBN 80-7013-362-7.
- [19] KUBÍČKOVÁ HANA, *Rozlišovací schopnost oka při nízkých úrovních osvětlení*. Olomouc, 2009/2010. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce RNDr. Vladimír Chalupa.
- [20] MENCÁK Jiří, *Zraková ostrost*. Brno, 2009. Bakalářská práce. Masarykova univerzita Brno. Vedoucí práce MUDr. Jan Richter.
- [21] FUKA, Josef a Bedřich HAVELKA. *Optika a atomová fyzika*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1961. Učebnice pro vysoké školy (Státní pedagogické nakladatelství).

- [22] Bc. VORÁLKOVÁ Kateřina, *Zrakové vnímání řidiče v dopravním provozu*. Brno, 2012. Diplomová práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Ing. Robert Sedlák.
- [23] ČESKO. Zákon č. 361/2000, *Zákon o provozu na pozemních komunikacích*. Sbírnka zákonů České republiky
- [24] BRADÁČ, Albert, Jiří STRAUS a Viktor PORADA. *Soudní inženýrství*. Praha: Policejní akademie České republiky, 2001. ISBN 80-7251-059-2.
- [25] Prof. PhDr. STRAUS, Jiří. *Prodloužení reakční doby v závislosti na hladinu alkoholu*. Katedra kriminalistiky Policejní akademie v Praze.
- [26] Bc. OSMANČÍK, Radek. *Analýza změny reakční doby vlivem působení vnějších a vnitřních vlivů organismu*. Ostrava, 2017. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita. Vedoucí práce Ing. Lukáš Peter.
- [27] Bc. SEDLÁČEK, Jan. *Vliv úpolového tréninku na rozvoj reakční rychlosti*. Brno, 2007. Diplomová práce. Masarykova univerzita v Brně. Vedoucí práce Mgr. Martin Zvonař, Ph.D.
- [28] VLK, František. *Automobilová elektronika*. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6462-3.
- [29] VOLVOCARS.COM, *Drive Alert Control*, [online]. Copyright © 2021 Volvo Car Corporation. [cit. 18.02.2021] Dostupné z <https://www.volvocars.com/cz/support/manuals/s60/2019w17/podpora-ridice/driver-alert-control/driver-alert-control>
- [30] Bc. BORECKÝ, Petr. *Reakční čas řidičů*. Praha, 2018. Diplomová práce. ČVUT Praha. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D., Ing. Josef Mík, Ph.D.
- [31] PhDr. REHNOVÁ Vlasta, *Zrakové vnímání a informační zátěž řidiče*. [online]. Dni s Fleetem, 16. května 2012 [cit. 18.02.2021] Dostupné z <http://www.ifleet.cz/files/ifleet/events/prezentace/136300724748.pdf>
- [32] VRÁBEL Luboš, *Určení reakční doby řidiče silničního vozidla na změnu situace před vozidlem*. Pardubice, 2019. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí práce Ing. Petr Jilek Ph.D.

- [33] KLEDUS Robert a kol., *Jízda za viditelnosti snížené tmou učebnice pro autoškoly*. Ústav soudního inženýrství. VUT v Brně, Brno 2015. ISBN: 978-80-214-5343-2.
- [34] Bc. FARUGA Michal, *Modelování procesu vidění*. Brno, 2008. Diplomová práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Ing. Radim Kolář, Ph.D.
- [35] OLBRECHT Jan, *Kontrastní citlivost a řízení motorových vozidel*. Olomouc 2012/2013. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce RNDr. Jaroslav Wagner, Ph.D.
- [36] Bc. NOVÁKOVÁ Darja, *Obvyklá doba a frekvence pozorování vybraných situací dopravního provozu řidičem*. Brno, 2015. Diplomová práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Ing. Albert Bradáč, Ph.D.
- [37] Mgr. DRÁPELA Emil Ph.D., *Lidský faktor v dopravě*. [online] Emil Drápela 2013 [cit. 18.02.2021] Dostupné z https://www.researchgate.net/publication/299461667_Lidsky_faktor_v_doprave
- [38] BIENEK Petr, *Analýza reakčních dob řidiče v provozu silničního vozidla*. Ostrava, 2019. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Jaromír Široký, Ph.D.
- [39] AUTOREVUE.CZ. *Systémy nočního vidění? Zatím exkluzivita*. [online]. Czech News Center ©2019 [cit. 18.02.2021]. Dostupné z https://www.autorevue.cz/systemy-nocniho-videni-zatim-exkluzivita_1
- [40] AUTOMOBILOVE-SYSTEMY.WZ.CZ. *Asistenční systémy*. [online] Martin Plůcha © 2012 [cit. 18.02.2021] Dostupné z <http://www.automobilove-systemy.wz.cz/asistence.html>
- [41] AUTOZIVE.CZ. *Nebezpečné optické klamy, které ohrožují řidiče*. [online] Copyright © 2016-2021 abcMedia Network, s.r.o. [cit. 19.02.2021] Dostupné z <https://www.autozive.cz/nebezpecne-opticke-klamy-ktere-ohrozuji-i-ceske-ridice/>
- [42] PhDr. REHNOVÁ Vlasta, Mgr. ČERNOCHOVÁ Dana. *Pohled dopravního psychologa*. Společnost pro rozvoj veřejného osvětlení. Podzimní setkání. Jablonec nad Nisou. 4-5. listopadu 2010

[43] ŠKODA AUTO a.s. *Katalog RAPID*. [online] © ŠKODA AUTO a.s. 2019. Dostupné z <https://www.skoda-auto.cz/nabidka/ceniky-katalogy>