

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

URČENÍ REAKČNÍ DOBY ŘIDIČE SILNIČNÍHO VOZIDLA NA ZMĚNU
SITUACE PŘED VOZIDLEM

Luboš Vrábel

Bakalářská práce

2019

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Luboš Vrábel**
Osobní číslo: **D16766**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**
Název tématu: **Určení reakční doby řidiče silničního vozidla na změnu situace před vozidlem**
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je objektivně určit, jak se změní reakční doba řidiče v závislosti na provedení výstražných světel u vozidla jedoucím před ním.

Autor práce bude postupovat podle sestavené osnovy a to dle svých vědeckých možností. Současně bude získané výsledky konzultovat s vedoucím práce, tak, aby byly splněny cíle práce.

1. Úvod
2. Konstrukce a provedení brzdových výstražných světel
3. Reakční doba řidiče
4. Stanovení podmínek měřicího systému a určení reálných situací, při kterých bude měření realizováno
5. Experimentální ověření rozdílu reakční doby řidiče na brzdová světla s běžnou žárovkou a s LED žárovkou
6. Zpracování a vyhodnocení získaných dat
7. Závěr

Rozsah grafických prací: **podle pokynů vedoucího práce**

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran textu a přílohy**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

[1] ČERNÝ, J.: Světla 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.

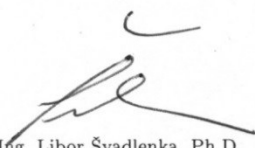
[3] Encyklopedie automobilů: značky, modely, technické údaje. Praha: Gemini, 1994. ISBN 80-85820-04-8.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Jilek, Ph.D.**

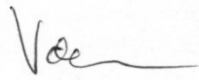
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **15. února 2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2019**


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

L.S.


Ing. Jakub Vágner, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. února 2019

Prohlašuji:

Tuto práci 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. 9/2012 Pravidla pro zveřejňování závěrečných prací a jejich základní jednotnou formální úpravu, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

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

V Pardubicích dne 16.05. 2019

Luboš Vrábel

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěl velmi poděkovat panu Ing. Petrovi Jilkovi, Ph.D., vedoucímu mé bakalářské práce, za odborné vedení, věcné rady a připomínky, které mi pomáhaly při vypracování této práce, také za věnovaný čas při realizaci experimentu. Poděkování patří také všem, kteří se podíleli na experimentálním měření. V neposlední řadě také děkuji své rodině, a především manželce Kateřině, která mi byla po celou dobu studia oporou a umožnila mi studium na vysoké škole.

ANOTACE

Práce je zaměřena na určení reakční doby řidiče silničního vozidla na změnu situace před vozidlem a je rozdělena na dvě části. První část práce se věnuje konstrukci, účelu a uplatnění zadního osvětlení vozidla. Dále jsou vysvětleny fyziologické a psychické faktory lidského vidění a vnímání podnětů s vysvětlením reakční doby řidiče.

Druhá část práce se věnuje experimentálnímu měření reakční doby řidiče. Reakční doba je měřena u dvou různých zdrojů světla, přičemž jsou určeny dvě různé podmínky měření. Výsledky měření jsou následně porovnány a vyhodnoceny. Cílem práce je experimentálně ověřit vliv změny zdroje světla na reakční dobu řidiče.

KLÍČOVÁ SLOVA

řidič, vozidlo, brzdové světlo, reakční doba, reakční podnět

TITLE

The assessment of road vehicle driver's reaction time on the situation change in front of the vehicle.

ANNOTATION

The theses is focused on road vehicle driver's reaction time assessment on the situation change in front of the vehicle. The theses is divided into two parts. The first part is dedicated to construction, function and use of vehicle's rear light. Further there are explained physiological and psychological factors of human visual sense and impulses perceiving with driver's reaction time explanation.

The second part goes in experimental measurement of driver's reaction time. The reaction time is measured at two various sources of light, whereas there are given two different conditions of measurement. The results of measurement are consequently compared and assessed. The objective of the theses is to verify experimentally the influence of light source change to the driver's reaction time.

KEYWORDS

driver, vehicle, stop-light, reaction time, reaction impulse

OBSAH

Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	11
Seznam zkratk	12
Úvod	13
1 Konstrukce a provedení brzdových výstražných světel	14
1.1 Osvětlení motorových vozidel [1]	14
1.2 Účel signálů zadního kombinovaného světla.....	15
1.3 Popis jednotlivých světel zadní skupinové svítilny [2], [3].....	15
1.4 Zadní skupinová svítilna	17
1.4.1 Nosič	18
1.4.2 Krycí sklo.....	18
1.4.3 Reflektor	20
1.4.4 Světlovod	21
1.5 Světelné zdroje brzdových světel	21
1.5.1 Klasická žárovka.....	21
1.5.2 LED diody.....	23
1.5.3 OLED diody.....	25
1.6 Světelné zdroje střední brzdové svítilny.....	26
1.7 Spínání brzdových světel	27
1.8 Moderní prvky v řešení brzdových světel.....	28
1.9 Budoucnost brzdových světel	29
2 Reakční doba řidiče	32
2.1 Všeobecné požadavky na řidiče při řízení vozidla [21].....	32
2.2 Oblasti vidění lidského oka.....	32
2.3 Fyziologie vidění lidského oka	33
2.4 Obecná forma reakční doby řidiče.....	33
2.4.1 Optická reakce	35
2.4.2 Psychická reakce.....	35
2.4.3 Svalová reakce	35
2.4.4 Členění reakční doby ve vztahu Řidič vs. Vozidlo.....	36
2.4.5 Časový přehled jednotlivých úseků reakční doby a odezvy vozidla	36
2.5 Faktory prodlužující reakční dobu řidiče.....	37

2.6	Faktory zkracující reakční dobu řidiče	40
2.7	Dílčí závěr	44
3	Stanovení podmínek měřicího systému a určení reálných situací, při kterých bude měření realizováno.....	45
3.1	Formulace problému	45
3.2	Definování měřené reakční doby řidiče a měřené veličiny	45
3.3	Podmínky měřicího systému.....	46
3.4	Určení reálných situací	51
4	Experimentální ověření rozdílu reakční doby řidiče na brzdová světla s běžnou žárovkou a s LED žárovkou.....	53
4.1	Metodika experimentu	53
4.2	Varianty experimentu	53
4.3	Postup při sběru a vyhodnocení záznamů.....	54
5	Zpracování a vyhodnocení získaných dat.....	55
5.1	Porovnání rychlosti dosažení maximálního rozsvícení použitých zdrojů světla ..55	
5.2	Zpracování dat získaných z experimentálního měření.....	56
5.2.1	Výsledky měření jednotlivých osob	56
5.2.2	Výsledky měření celé skupiny testovaných osob	59
5.3	Vyhodnocení naměřených dat	60
	Závěr	63
	Použitá literatura	64
	Přílohy.....	68

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Rozpad zadní skupinové svítilny Škoda Fabia III [5]	18
Obrázek 2: Vliv krycího skla na průběh světelných paprsků [1]	19
Obrázek 3: Přehled vývoje krycího skla zadní skupinové svítilny vozu Škoda Octavia [7]	19
Obrázek 4: Ukázky variant provedení reflektorů [8]	20
Obrázek 5: Princip světlovodu [9]	21
Obrázek 6: Ukázky optických systémů se žárovkami [4]	23
Obrázek 7: Standardní a vysoce výkonná LED dioda [4]	24
Obrázek 8: Metody směřování světla [4]	25
Obrázek 9: Řez OLED diodou [13]	25
Obrázek 10: Střední brzdová svítilna (žárovky) [14]	26
Obrázek 11: Střední brzdová svítilna (LED) [15]	27
Obrázek 12: Mechanický spínač [1]	27
Obrázek 13: Tlakový spínač [1]	28
Obrázek 14: Průběh funkce dvoustupňového brzdového světla firmy BMW [17]	29
Obrázek 15: Princip vysílání elektronického signálu [18]	30
Obrázek 16: Ukázka „Rojícího se“ zadního světla [19]	31
Obrázek 17: Laserové zadní světlo [19]	31
Obrázek 18: Úhlové rozmezí pro pohyb hlavy a očí [22]	32
Obrázek 19: Blokové schéma – Řidič vs. Vozidlo [26]	34
Obrázek 20: Výhled z vozidla OPEL Astra hatchback [22]	39
Obrázek 21: Porovnání rychlostí rozsvícení žárovky P21 W a LED diody [4]	41
Obrázek 22: Zapojení měřicí ústředny a odpojovacího relé	46
Obrázek 23: LED žárovky P21/4 W	47
Obrázek 24: Poloha testovaných vozidel	49
Obrázek 25: Identifikační karta měření	50

Obrázek 26: Průběh měřeného signálu s popisem	52
Obrázek 27: Porovnání rychlosti rozsvícení klasické žárovky a LED žárovky	56
Obrázek 28: Graf reakční doby jednotlivých osob – zhasnutá zadní obrysová světla.....	61
Obrázek 29: Graf reakční doby jednotlivých osob – rozsvícená zadní obrysová světla.....	62
Obrázek 30: Graf reakční doby skupiny testovaných osob.....	62

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Žárovky brzdových světel [10], [11]	22
Tabulka 2: Popis časových úseků při nouzovém brzdění [28].....	36
Tabulka 3: Přehled úseků reakční doby, odezvy vozidla a ujeté vzdálenosti [30]	37
Tabulka 4: Přehled počtu mrknutí a doby jejich trvání [24]	38
Tabulka 5: „ <i>Čas pozornosti věnovaný různým sdělovačům (dle Taoka, 1990)</i> “ [31].....	44
Tabulka 6: Parametry zvolených zdrojů	47
Tabulka 7: Parametry zvolených vozidel.....	48
Tabulka 8: Výsledná reakční doba testované osoby č. 1	57
Tabulka 9: Výsledná reakční doba testované osoby č. 2	57
Tabulka 10: Výsledná reakční doba testované osoby č. 3	58
Tabulka 11: Výsledná reakční doba testované osoby č. 4	59
Tabulka 12: Výsledná reakční doba skupiny testovaných osob	60

SEZNAM ZKRATEK

SPZ	Státní poznávací značka vozidla
ECE	Economic Commission for Europe
LED	Light Emitting Diode
OLED	Organic light-emitting diode
PC	Polykarbonát
PWM	Pulse Width Modulation
ABS	Anti-lock Brake System
CNS	Centrální nervová soustava
DSBS	Dual Sensor Brake Support
RBS	Radar Brake Support
B2V	Brain-to-vehicle
CSN	Česká technická norma
<i>OS</i>	Optický signál [V]
<i>BS</i>	Brzdový signál [V]
BESIP	Bezpečnost silničního provozu
FPS	Frames per second
<i>RDŘ</i>	Reakční doba řidiče [s]

ÚVOD

V současné době s narůstajícím počtem silničních vozidel na komunikacích a hektickým životním stylem je stále více aktuální otázka bezpečnosti silničního provozu. K jednomu z klíčových bezpečnostních prvků silničního vozidla patří bezesporu jeho osvětlení. Zvláštní význam pak lze přikládat výstražným a brzdovým světlům, jejichž konstrukce, volba použitých materiálů a technologií může ovlivnit reakční dobu řidiče vzadu jedoucího vozidla.

Tato práce tedy pojednává o určení reakční doby řidiče silničního vozidla na změnu situace před vozidlem. Práce je rozdělena na dvě části. První část práce se věnuje konstrukci, účelu a uplatnění zadní skupinové svítilny a brzdových světel. Jelikož se oblast automotive stále vyvíjí, práce se zamýšlí i nad možným budoucím vývojem konstrukce a designu automobilového osvětlení se zvláštním přihlédnutím k bezpečnosti silničního provozu. V další části jsou zachyceny nejdůležitější údaje ve spojitosti s reakční dobou řidiče a faktory, které tuto reakční dobu pozitivně ale i negativně ovlivňují. Pro lepší názornost je práce doplněna o schémata a obrazovou dokumentaci. Druhá praktická část práce se věnuje experimentálnímu měření reakční doby řidiče. Cílem této práce je ověřit, zda bude reakční doba řidiče kratší, a to za předpokladu, že bude klasická žárovka nahrazena LED žárovkou. Případný rozdíl reakční doby bude experimentálně ověřen na skupině osob. Tyto osoby budou v nejkratším možném čase reagovat na rozsvícení obou druhů žárovek, a to při stanovených reálných podmínkách.

1 KONSTRUKCE A PROVEDENÍ BRZDOVÝCH VÝSTRAŽNÝCH SVĚTEL

1.1 Osvětlení motorových vozidel [1]

Vnější světla motorových vozidel rozdělujeme dle:

Účelu:

- **Osvětlovací** – jejich úkolem je osvětlit vozovku před vozidlem na takovou vzdálenost, aby bylo možno s vozidlem cestovat za tmy. Jedná se o světla dálková, tlumená, mlhová a zpětné světlo.
- **Návěstní** – úkolem těchto světel je zajistit viditelnost vozidla. Řadí se sem obrysová, koncová a parkovací světla. Další jsou brzdová světla, která slouží k upozornění na zpomalení nebo zastavení vozidla a dále pak směrová světla, která informují o změně směru jízdy vozidla.

Typu světelného zařízení:

- **Světlomety** – mají výkonný světelný zdroj sloužící ke směrovému osvětlení daného prostoru okolí vozidla na velkou vzdálenost.
- **Svítilna** – jedná se o světelné zařízení, které slouží k osvětlení blízkého okolí a pro optické předání signálu. Mezi svítilny lze zařadit i dříve používané lampy a lucerny.
- **Odrázky** – opticky upravené sklo, které odráží světlo vysílané z cizího zdroje.

Rozdělení dle uspořádání hlavních částí světla:

- **Samostatná** – světelný zdroj, výstupní plocha i pouzdro jsou uspořádány samostatně.
- **Sloučená** – samostatný světelný zdroj, společná výstupní plocha a pouzdro.
- **Sdružená** – světelný zdroj a pouzdro jsou uspořádány společně, výstupní plochy jsou samostatné.

1.2 Účel signálů zadního kombinovaného světla

S vývojem zadních skupinových svítilen byla současně vyvinuta řada signálů ke zvýšení bezpečnosti. Nejistota ostatních účastníků silničního provozu se snížila tím, že byli včas a přesně informováni o tom, co se stane v dopravní situaci před nimi.

Návrh nových signálů se týká dvou hlavních otázek [40]:

- Jaké informace potřebují účastníci silničního provozu za vozidlem, aby se snížila jejich nejistota?
- Jak by měly být tyto informace prezentovány?

Funkce zadních signálů [40]:

V současné době nabízí zadní skupinové svítilny tyto cenné informace:

- signalizují přítomnost vozidla,
- informují o šířce vozidla,
- informují o typu vozidla jako například nákladní automobil,
- informují o vzdálenosti mezi vozidly,
- informují o rychlosti přibližování se k vozidlu,
- signalizují, že řidič použil brzdy,
- signalizují, že řidič plánuje odbočovat, otáčet se nebo se již otáčí,
- označují zaparkované vozidlo,
- signalizují nouzovou situaci vozidla,
- identifikují vozidlo (možnost čtení SPZ v noci).

1.3 Popis jednotlivých světél zadní skupinové svítilny [2], [3]

Osvětlení vozidel se musí řídit zákonnými předpisy. Předpis ECE č. 48 určuje, jaké osvětlení je povinné a jaké nepovinné, zároveň popisuje umístění jednotlivých světél.

Zadní obrysová světla

Každé vozidlo musí být vybaveno obrysovými světly. Směrem dozadu svítí neoslňující červenou barvou nižší intenzity než brzdová světla. Tato světla informují ostatní účastníky silničního provozu o přítomnosti vozidla a zároveň umožňují okolním účastníkům silničního provozu udělat si představu o rozměrech vozidla. Zadní obrysová světla musí být zapojena ve společném světelném okruhu s předními a bočními obrysovými světly a osvětlením SPZ. Činnost světel musí být signalizována kontrolkou zelené barvy v zorném poli řidiče.

Brzdová světla

Jsou standardní povinnou součástí každého vozidla. Informují ostatní účastníky silničního provozu o záměru brzdit nebo o již probíhajícím brzdění vozidla. Při brzdění musí svítit směrem dozadu jasným nepřerušovaným světlem červené barvy. Musí svítit nezávisle na ostatních spotřebičích. Pokud je vozidlo vybaveno střední brzdovou svítilnou, pak brzdová světla musí svítit společně s touto svítilnou. Kontrolka aktivace a funkčnosti světel není povinná.

Zadní směrová světla

Jsou standardní povinnou součástí každého vozidla. Informují ostatní účastníky silničního provozu o záměru odbočit nebo o odbočování a otáčení vozidla, ale také jako obecná výstraha. Zapnutím příslušného spínače musí vydávat oranžové přerušované světlo. Musí být nezávislá na ostatních spotřebičích. Činnost a správná funkce světel musí být signalizována blikající kontrolkou zelené barvy v zorném poli řidiče.

Zadní mlhové světlo

Je standardní povinnou součástí každého vozidla. Smí být v činnosti, pouze pokud svítí tlumená, dálková nebo přední světla do mlhy. Po aktivaci svítí červeným nepřerušovaným světlem. Minimální vzdálenost od brzdového světla je 100 mm ve všech směrech. Činnost světla musí být signalizována kontrolkou oranžové barvy v zorném poli řidiče.

Zpětné světlo

Je standardní povinnou součástí každého vozidla. Smí být v činnosti, pouze pokud je zařazen zpětný převod. Po aktivaci svítí bílým nepřerušovaným světlem, osvětlující prostor ve směru jízdy vozidla. Kontrolka aktivace světla je nepovinná.

Střední brzdová svítlna

Je standardní povinnou součástí každého vozidla. Jedná se o svítlnu, která doplňuje brzdová světla. Její vlastnosti jsou shodné s výše uvedenými vlastnostmi brzdových světel. Rozdíl najdeme v umístění, které je přesně určeno předpisem.

Osvětlení SPZ

Je standardní povinnou součástí každého vozidla. Musí zaručit minimální osvětlení SPZ. Je zapojeno ve společném světelném okruhu se všemi obrysovými světly a je bílé nepřerušované barvy. Kontrolka aktivace světla je nepovinná.

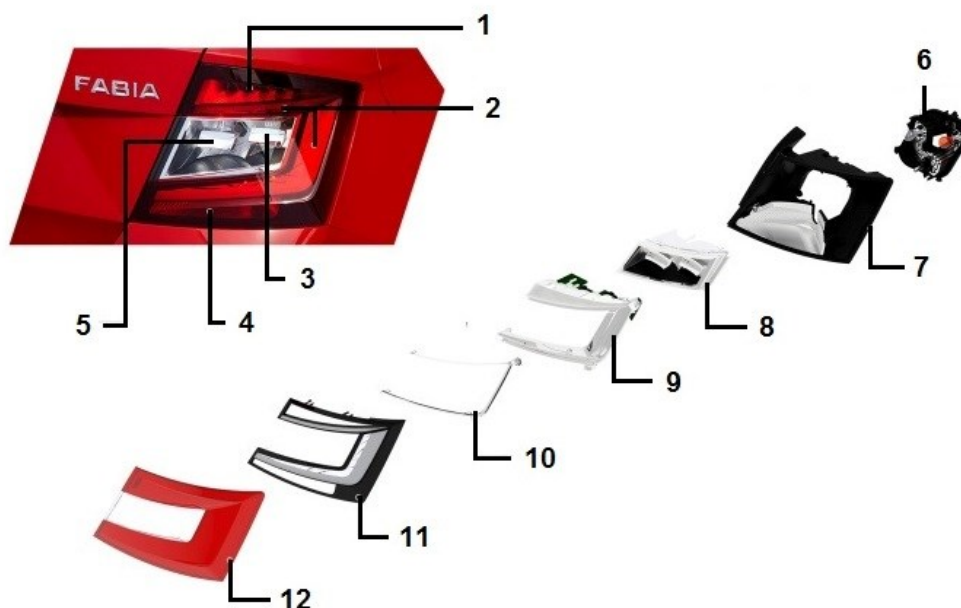
Zadní odrazka

Je standardní povinnou součástí každého vozidla. Jedná se o světelné zařízení, které nemá vlastní zdroj osvětlení a k jeho aktivaci dochází osvětlením cizím zdrojem. Zadní odrazky jsou červené barvy.

1.4 Zadní skupinová svítlna

Na Obrázku č. 1 je uveden rozpad zadní skupinové svítlny, ze které je patrné, že tyto moderní svítlny jsou mnohem komplikovanější než dříve používané svítlny. Největší podíl na složitosti mají požadavky na design. Správně rozvést světlo a vytvořit zajímavý světelný efekt zadní skupinové svítlny za dodržení zákonných předpisů je složitý proces, na jehož konci vzniká svítlna, jejíž jedinečné světlo nám umožní na dálku rozpoznat konkrétní značku nebo dokonce i konkrétní typ vozidla. V další části této kapitoly bude pojednáno o hlavních dílech zadní skupinové svítlny.

ŠKODA FABIA
ZADNÍ SKUPINOVÉ SVÍTILNY – DETAIL



1 – brzdové světlo (LED), 2 – koncové světlo (LED), 3 – směrové světlo (žárovka), 4 – zadní mlhové světlo (žárovka), 5 – zpětné světlo (žárovka), 6 – nosič žárovek s elektrickým obvodem, 7 – těleso s reflektorem, 8 – designový rámeček s reflektory, 9 – reflektor koncového a brzdového světla, 10 – světlovod, 11 – rámeček s integrovanou krystalickou strukturou, 12 – krycí sklo

Obrázek 1: Rozpad zadní skupinové svítilny Škoda Fabia III [5]

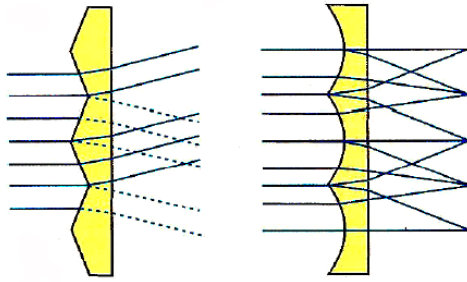
1.4.1 Nosič

Jedná se o díl nesoucí elektrické obvody. Jeho součástí jsou také objímky pro uchycení žárovek. K nosiči se připevňují pomocí aretačních prvků další díly skupinové svítilny.

1.4.2 Krycí sklo

- *Strukturované*

Strukturovaným vnějším krycím sklem nebo plochou strukturovaného vnějšího krycího skla se rozumí celé vnější krycí sklo nebo jeho část konstruované ke změně nebo ovlivnění šíření světla ze zdroje (zdrojů) světla tak, že světelné paprsky jsou významně odkloněny od svého původního směru [6].



Obrázek 2: Vliv krycího skla na průběh světelných paprsků [1]

- **Bez rozptylové optiky**

Stále častěji se lze setkat s čirými krycími skly, kdy odklonění paprsků zajišťuje přímo reflektor nebo systém LED případně OLED.



První řada zleva: Octavia I, Octavia I – facelift, Octavia II, Octavia II – facelift
 Druhá řada zleva: Octavia III, Octavia III – facelift

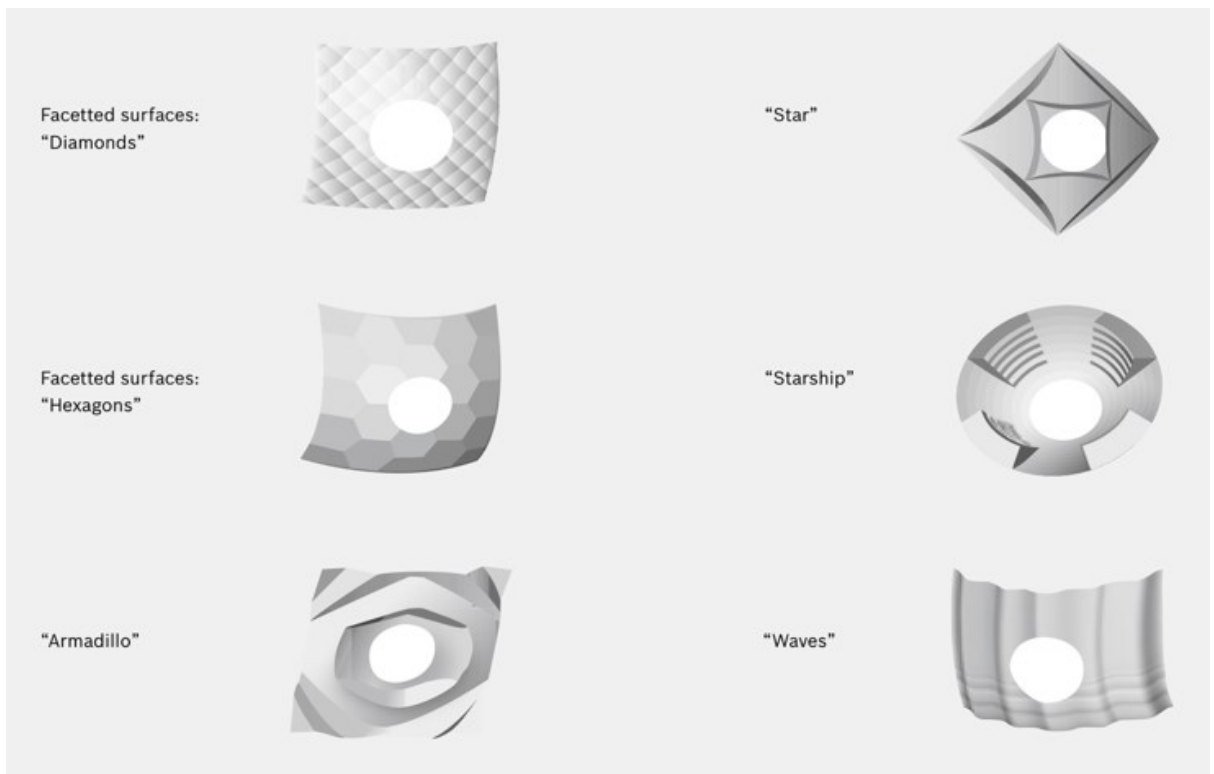
Obrázek 3: Přehled vývoje krycího skla zadní skupinové svítilny vozu Škoda Octavia [7]

Výběr materiálu pro krycí skla

Nejčastěji se kryty světel vyrábí z plastu – polykarbonátu (PC), který má řadu předností. Je vysoce odolný proti nárazům, je velmi lehký, umožní menší výrobní tolerance, umožňuje individuální designové řešení [4].

1.4.3 Reflektor

Hlavním účelem reflektoru je zachytávat co největší část světelného toku vyzařovaného žárovkou a směřovat ho ve směru vozovky. K co nejúčinnějšímu splnění tohoto účelu se používají různé reflektorové systémy. Reflektor s hladkým povrchem se používá v kombinaci se strukturovaným krycím sklem. Reflektory s tvarovaným povrchem přebírají i funkci strukturovaného krycího skla. Ohyb světelných paprsků a rozptyl světla se vytváří přímo pomocí tvarovaných ploch reflektoru. V takovém případě lze použít krycí sklo bez rozptylové optiky.



Obrázek 4: Ukázky variant provedení reflektorů [8]

Výběr materiálu pro reflektory

Zatímco dříve se většina reflektorů vyráběla z ocelového plechu, dnes se kvůli aktuálním požadavkům na světlomety (např. výrobní tolerance, konstrukční provedení, kvalita povrchu, hmotnost atd.) používají hlavně různé termoplasty. Vyrábějí se tak, aby zajišťovaly vysoce přesnou reprodukci barev.

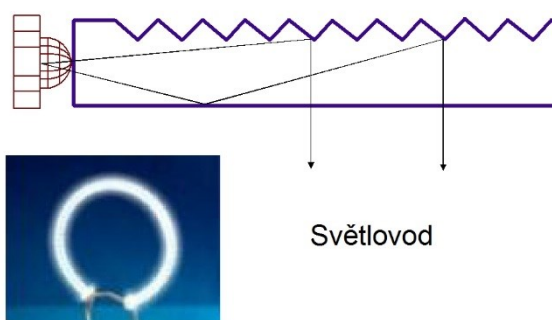
Díky tomu lze realizovat speciálně odstupňované a vícekomorové systémy. Následně se reflektory lakují, čímž se dosahuje nezbytné kvality povrchu. V systémech světlometů, u nichž dochází k silnému tepelnému namáhání, se rovněž používají reflektory z hliníku nebo hořčíku.

V dalším kroku se na reflektor napařováním nanáší odrazivá vrstva z hliníku a pak ochranná vrstva z křemíku [4].

1.4.4 Světlovod

Jedná se o prvek, který využívá fyzikálních vlastností optiky tedy odrazu a lomu světla.

Základní funkcí světlovodu je přivádět světlo od zdroje do požadovaného místa.






Obrázek 5: Princip světlovodu [9]

1.5 Světelné zdroje brzdových světél

1.5.1 Klasická žárovka

Žárovku lze popsat jako zařízení, využívající tepelných účinků vzniklých při průchodu elektrického proudu vodičem. Prochází-li vodičem elektrický proud, pak vlivem elektrického odporu vodiče dochází k jeho zahřívání až rozžhavení. Žárovka se skládá z těchto základních částí: objímka, wolframové vlákno a skleněná baňka. Wolframové vlákno je namotáno ve spirálkách a je dlouhé asi tři čtvrtiny metru, přičemž jeho odpor je řádově 100 ohmů. Průchod elektrického proudu rozžhává wolframové vlákno na teplotu kolem 2500 °C, které neshoří díky nepřítomnosti kyslíku v baňce.

Tabulka 1: Žárovky brzdových světel [10], [11]

Označení	Patice	Vlákna	Obrázek
P21W	Bajonetová	Jednovláknová	
PR21W	Bajonetová	Jednovláknová	
P21/5 W	Bajonetová	Dvouvláknová	

„U mnoha vozidel se světelné zdroje ovládají pulzně šířkovou modulací. Ta má v osvětlení vozidel hned několik výhod. Jednou z nich je to, že pro různé funkce lze používat stejné žárovky. Dále se prodlužuje jejich životnost. Pulzně šířková modulace (PWM) se používá i u zadních světel Golfu V. PWM umožňuje jak pro brzdové, tak pro koncové světlo používat 21 W žárovku. Šířka impulsu se moduluje tak, aby 21 W žárovka měla přibližně stejný světelný tok jako 5 W žárovka. Jakmile však řidič sešlápne brzdový pedál, nastaví se taková doba zapnutí, aby bylo do brzdového světla přiváděno napětí 13,5 V a 21 W žárovka poskytovala plný světelný tok. Jakmile řidič brzdu znovu uvolní, vrátí se napětí na hodnotu 5,74 V.“ [4]

Patice žárovek

Patice žárovky slouží k uchycení žárovky a jejímu přesnému umístění v zadní skupinové svítelně. V případě brzdových světel se používá bajonetový typ patice, který je také nejrozšířenější. Tyto patice jsou vyráběny pro jednovláknové i dvouvláknové žárovky.

Jednovláknová žárovka zajišťuje zdroj světla pouze pro brzdové světlo. Dvouvláknová žárovka využívá jedno vlákno jako zdroj světla pro zadní obrysové světlo a druhé vlákno zajišťuje zdroj světla pro brzdové světlo [1].



Obrázek 6: Ukázky optických systémů se žárovkami [4]

1.5.2 LED diody

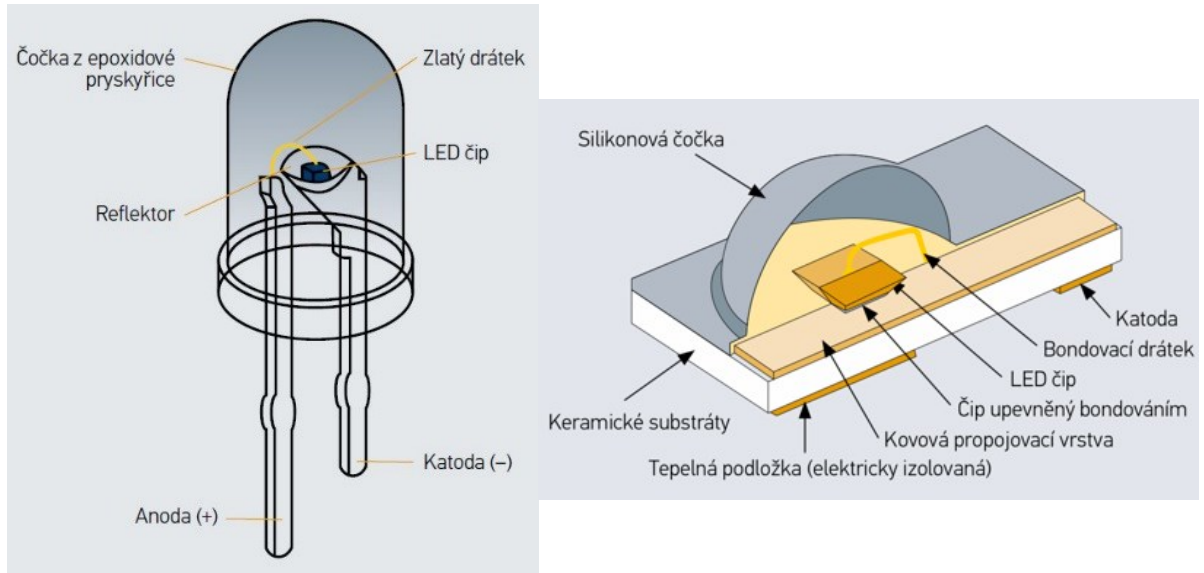
„Základem LED diody je polovodičový čip připojený ke zdroji elektrického napětí. Kolem něj je vrstva materiálu (například pryskyřice), která dává vyzařovanému světlu potřebné optické vlastnosti (bodové nebo rozptýlené světlo, s různým úhlem osvětlení). Jak plyne z principu polovodičové diody, na rozdíl od žárovky, kde nezáleží na směru průchodu elektrického proudu, musí být LED dioda zapojena pouze v propustném směru. Zatímco tedy žárovka může používat stejnosměrný i střídavý proud, LED dioda může používat pouze stejnosměrný proud. Pro připojení ke zdroji střídavého proudu (například v běžné zásuvce) proto musí být LED svítidlo vybaveno usměrňovačem.“ [12]

LED diody se vyznačují řadou kladných vlastností, jako je vysoká účinnost a výkon při dlouhé životnosti, proto neustále získávají na významu zejména v automobilovém průmyslu jako světelné zdroje vnitřního i vnějšího osvětlení [4].

Základní informace a konstrukce LED diod

Lze se setkat s různými velikostmi, konstrukčním provedením a barvami LED diod. Nejznámější variantou je standardní LED dioda s válcovitým tvarem s polokoulí na místě, z něhož vystupuje světlo. Tyto standardní LED diody obsahují LED čip, reflektor (s kontaktem s katodou), zlatý drátek (kontakt s anodou) a plastovou čočku.

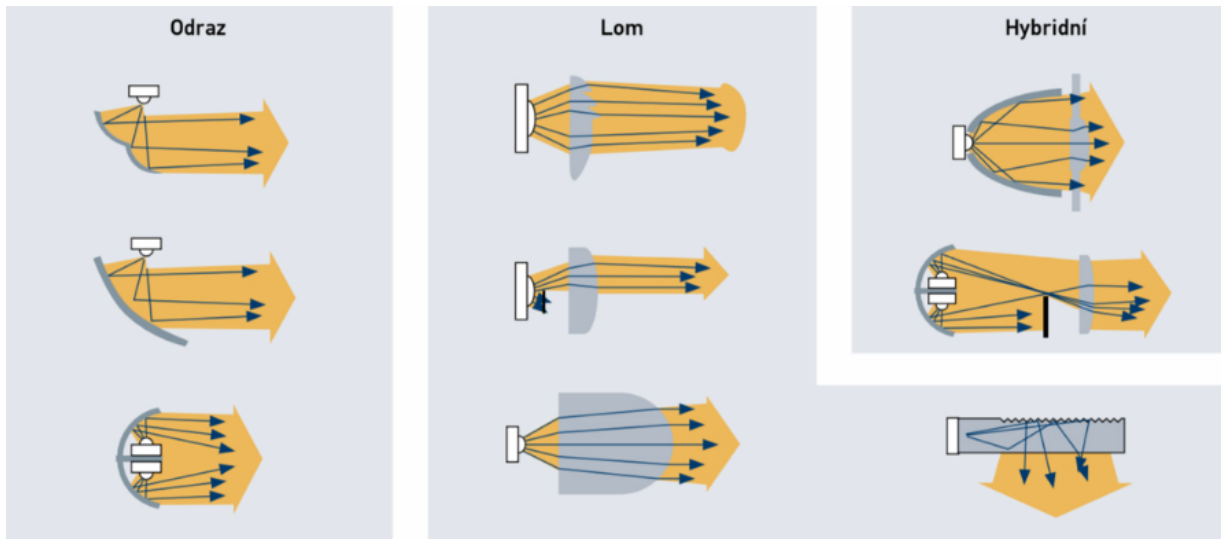
Vysoce výkonné LED diody obsahují kovový výlisek pro zajištění lepší regulace teploty, čímž může LED diodou protékat větší proud, který zajistí vyzařování světla z větší plochy a vyšší světelný výkon. V porovnání se standardní 5mm LED diodou má 10x nižší tepelný odpor a v případě čtvercové vyzařovací plochy o velikosti asi 1 mm má účinnost 40-100 lumenů. Standardní 5mm LED dioda o velikosti 0,25 mm dosahuje účinnosti pouze 1-2 lumeny [4].



Obrázek 7: Standardní a vysokovýkonné LED diody [4]

Možnosti použití LED optiky v automobilu

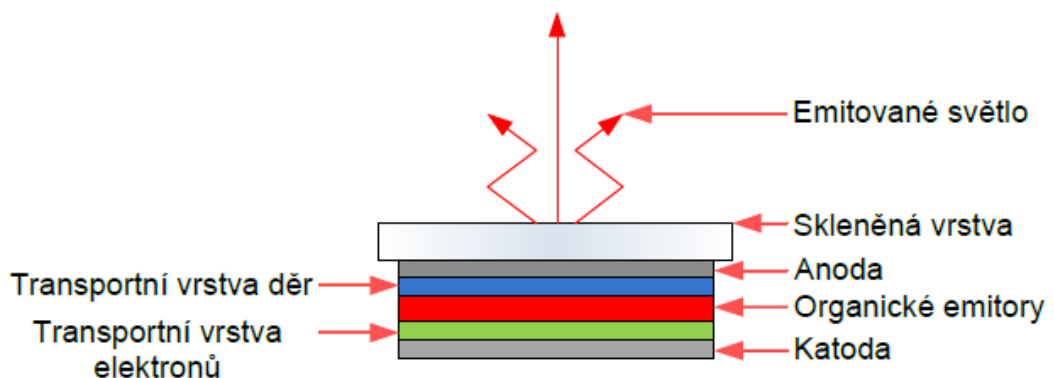
Existují různé způsoby, jakými lze světlo vést určitým způsobem. Nejdůležitějšími způsoby směřování světla v automobilovém osvětlení jsou metoda odrazu, metoda lomu a hybridní metoda (kombinace odrazu a lomu) [4].



Obrázek 8: Metody směřování světla [4]

1.5.3 OLED diody

„Technologie LED dále vedla ke konstrukci OLED – organických LED diod. Jsou to LED diody, kde mezi anodou z průhledného materiálu a anodou z kovu nebo jiné průhledné látky je několik vrstev organické látky. Tyto vrstvy přenášejí elektrony a díry a spojují se ve vyzařovací vrstvě uprostřed. Při střetávání kladných a záporných elektrických nábojů ve vyzařovací vrstvě vzniká světlo o velké intenzitě.“ [12]



Obrázek 9: Řez OLED diodou [13]

OLED diody emitující světlo nabízejí vynikající vlastnosti. Namísto bodového světla, které je známé z klasických LED diod, vytváří OLED světlo v celé ploše, což je patrné obzvláště při pohledu na světlo mírně ze strany. Další výhodou je možnost jednotlivě tlumit několik segmentů. Životnost OLED diod by měla být stejně dlouhá, jako je životní cyklus samotného motorového vozidla [20].

1.6 Světelné zdroje střední brzdové svítilny

Vzhledem k tomu, že se jedná o poměrně mladý typ osvětlení, neprošlo toto světlo takovým vývojem jako jiná osvětlení. Je možno říci, že střední brzdová svítilna používá stejná konstrukční řešení, která lze najít u brzdových světel, která jsou součástí zadní skupinové svítilny. Jediným rozdílem je umístění, které musí splňovat podmínky předpisu ECE R48 a R7. V praxi se lze setkat s těmito variantami umístění střední brzdové svítilny:

- na zadním skle u horní hrany,
- na zadním skle u dolní hrany,
- součást konstrukce zadních dveří nebo víka zavazadlového prostoru,
- součást horního zadního spojleru.

Klasická žárovka

Jedná se o řešení, které výrobci používají u modelů, kde je cílem snížit cenu vozidla na minimum nebo u dodávkových vozidel, kde se design není prioritou.



Obrázek 10: Střední brzdová svítilna (žárovky) [14]

Lišta LED

S nástupem LED technologie se poměrně rychle rozšířilo toto řešení, kde zdrojem světla je lišta s řadou několika LED diod.



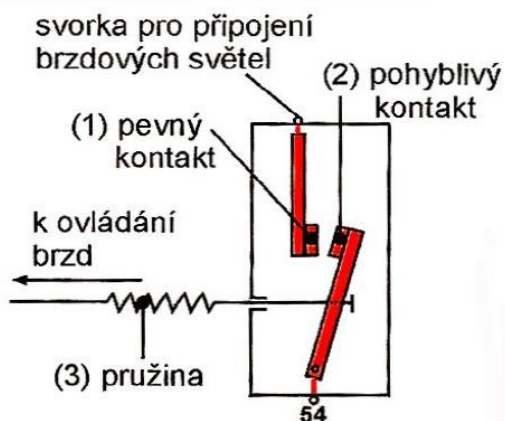
Obrázek 11: Střední brzdová svítilna (LED) [15]

1.7 Spínání brzdových světel

Typy spínačů brzdových světel:

- Mechanický spínač

Pohyb brzdového pedálu přes pružinu ovládá pohyblivý kontakt, který po dosednutí na pevný kontakt uzavře okruh brzdových světel. Tento typ spínače spíná již při velmi malém zdvihu ovládacího ústrojí, tzn. ještě před začátkem vlastního brzdění. Neprojevuje se zde vliv reakční doby systému. [1]



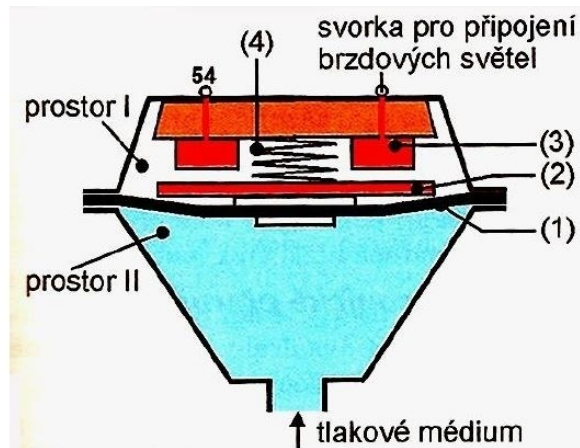
Obrázek 12: Mechanický spínač [1]

- Tlakový spínač

Ovládacím médiem může být tlaková kapalina nebo stlačený vzduch. Vnitřní prostor spínače je rozdělen na dvě části membránou (1). V prostoru I jsou umístěny kontakty (3) a kontaktní destička (2). Do prostoru II je přiváděno tlakové médium. Zvyšováním tlaku v prostoru II

dochází k prohýbání membrány, která přes pružinu (4) přitlačuje kontaktní destičku na kontakty. Když v prostoru II tlak poklesne, pružina vrátí kontaktní destičku i membránu do výchozí polohy a dojde k rozpojení kontaktů.

Určitou nevýhodou těchto spínačů je skutečnost, že začátek spínání je závislý na reakční době systému, která je zejména u vzduchotlakých brzd poměrně značná [1].



Obrázek 13: Tlakový spínač [1]

1.8 Moderní prvky v řešení brzdových světel

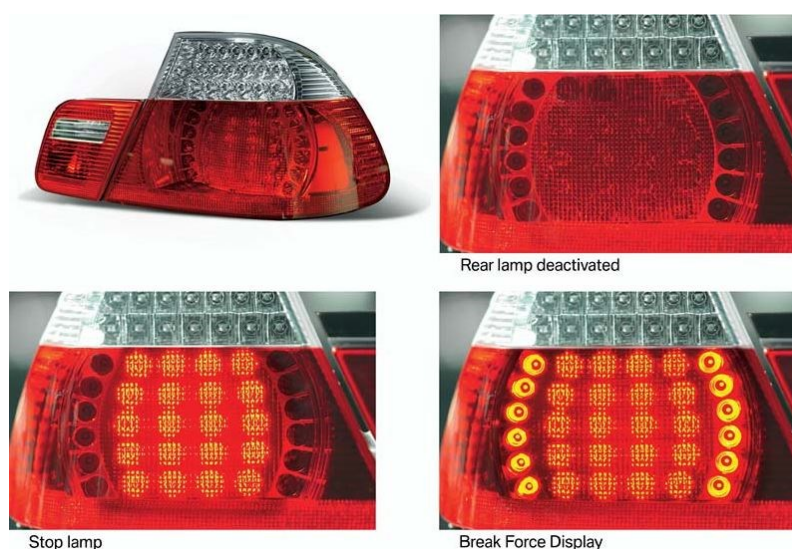
Tato kapitola popisuje vybrané technologie, které mohou přispět k vyšší bezpečnosti silničního provozu a zabránit tak vzniku materiálních škod nebo ztrátám na životech. Mezi tyto technologie patří i již zmíněné stále více se rozšiřující používání LED diod a nastupujících OLED diod, jejichž čas dosažení plného rozsvícení je výrazně kratší než u klasické žárovky.

Adaptivní brzdová světla

Tyto světla při panickém brzdění blikají čtyřikrát vyšší frekvencí než směrová světla, čímž dojde k účinnějšímu varování řidiče jedoucího v závěsu. V těchto kritických situacích takové opatření dokáže získat čas přibližně 0,2 sekundy. Některá vozidla jsou vybavena systémem, který při panickém brzdění uvede do činnosti varovná směrová světla, přičemž brzdová světla svítí stálým nepřerušovaným světlem.

Dvoustupňové brzdové světlo

Jedná se o brzdové světlo, u kterého je činná plocha světla rozdělena na dvě části. První část se rozsvítí při normálním brzdění, kdy je zpoždění až 5ms^{-2} ; jde tedy o standardní rozsvícení brzdového světla. Druhá část plochy se rozsvítí v okamžiku intenzivního brzdění, kdy zpoždění je přes 5ms^{-2} nebo v případě, že zasáhne systém ABS. V takovém případě dojde k zapnutí dodatkových LED diod brzdového světla. Jedná se tedy o dynamický ukazatel síly brzdění. Většina řidičů jedoucích za vozidlem vybaveným tímto systémem zpozorní a připraví se na případné aktivní brzdění, přestože nemusejí znát přesný význam uvedené světelné signalizace [16].



První řada zleva: zadní skupinová svítidla vozidla BMW 3, neaktivní brzdové světlo

Druhá řada zleva: brzdové světlo při normálním brzdění, brzdové světlo při aktivním brzdění

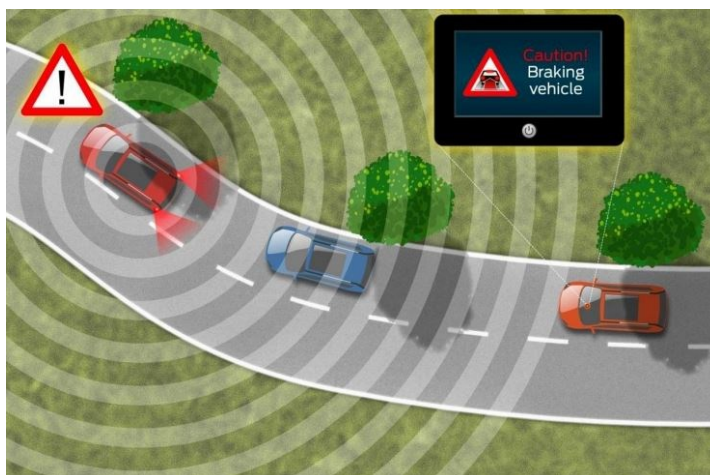
Obrázek 14: Průběh funkce dvoustupňového brzdového světla firmy BMW [17]

1.9 Budoucnost brzdových světel

V posledních letech probíhá intenzivní vývoj zadního osvětlení a díky moderním technologiím lze očekávat zajímavé koncepty. Otázkou však bude, zda splní podmínky homologace, která umožní jejich začlenění do standardní výbavy motorových vozidel. Jako příklad je uveden návrh firmy FORD, jejichž brzdová světla chtějí svítit „i za zatačkou“ a také je uveden koncept řešení zadního osvětlení z vývojového střediska firmy AUDI.

Elektronické brzdové světlo automobilky FORD

Pokud má brzdové světlo plnit svou funkci, pak musí být splněna podmínka, že brzdové světlo bude viditelné. Technologie, kterou testuje firma FORD, je založena na vyslání radiového signálu brzdícím vozidlem. Tento signál zaznamenají vozidla jedoucí v závěsu a například rozsvítí varovný signál na přístrojové desce. Řidič tak dostane informaci o brzdění vozidla jedoucího před ním, přestože bude například za zatáčkou nebo v koloně a nebude brzdící vozidlo přímo viditelné [18].



Obrázek 15: Princip vysílání elektronického signálu [18]

Koncept zadního osvětlení automobilky AUDI

- “Rojící se” zadní světlo

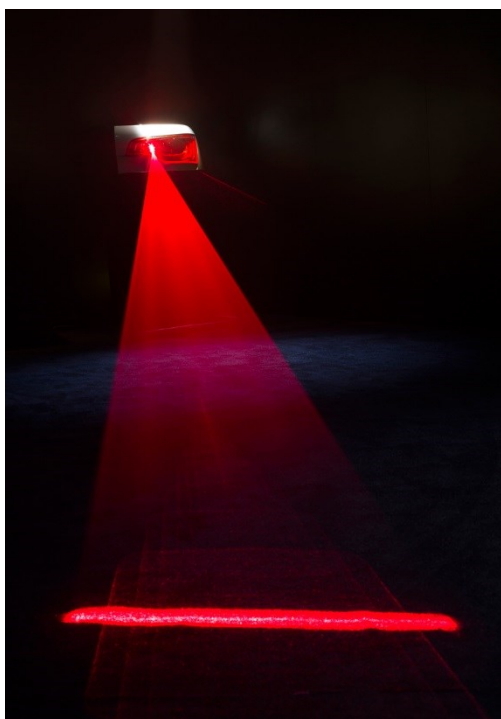
„Na základě technologií OLED inženýři Audi vyvinuli speciální typ „rojících se“ světel, díky kterým se zadní část vozidla promění ve velký rovnoměrně nasvícený povrch s množstvím drobných svítivých bodů podobného roji včel, červených teček, jejichž pohyby následují pohyby vozidla. Pokud auto začne odbočovat doprava, světýlka se také přesunou vpravo; když vůz zabrzdí, rychle se hrnou dopředu; čím rychleji auto jede, tím rychleji se pohybují. Řidič auta za ním díky tomu vždy hned pozná, jak se pohybuje.“ [19]



Obrázek 16: Ukázka „Rojícího se“ zadního světla [19]

- “Laserové” zadní světlo

„Toto „laserové zadní světlo“ je generováno laserovou diodou a dává řidičům jedoucím za autem jasné dobře viditelné signály. V podmínkách dobré viditelnosti rovnoměrné laserové zadní světlo svítí mírně dolů, vytváří červenou čáru na silnici a vyzývá následujícího řidiče držet dostatečný odstup – podobně jako zpomalovací pruhy. Za mlhy nebo deště laserový paprsek dopadá na kapičky vody ve vzduchu a díky tomu je viditelný; čára pak má tvar trojúhelníku – de facto tedy laserové zadní světlo vytváří velký výstražný trojúhelník.“ [19]



Obrázek 17: Laserové zadní světlo [19]

2 REAKČNÍ DOBA ŘIDIČE

2.1 Všeobecné požadavky na řidiče při řízení vozidla [21]

Jedná se o obecné požadavky vycházející ze zákona 361/2000 Sb. jejichž dodržování závisí především na morální integritě a aktuálním psychickém rozpoložení každého řidiče. Psychické rozpoložení řidiče výrazně ovlivňuje bezpečnost všech účastníků silničního provozu.

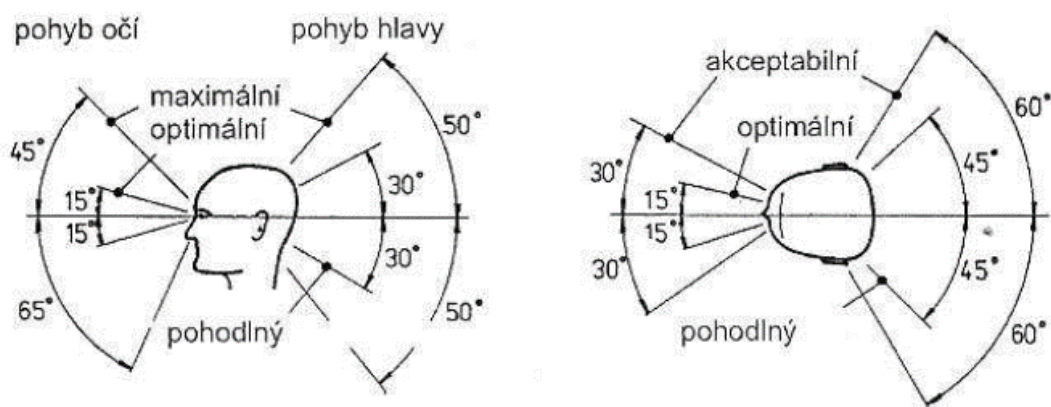
Schopnosti řidiče, které jsou požadované pro udělení nebo prodloužení řidičského oprávnění, se dělí na tyto části:

- **Vjemové** – jako příklad lze uvést vizuální, zvukovou, motorickou a prostorovou orientaci.
- **Intelektové** – rozpoznání, hodnocení, analytické a kritické myšlení.
- **Psychomotorické** – zde se jedná hlavně o rychlost a přesnost reakce, přizpůsobivost a koordinace pohybů.

2.2 Oblasti vidění lidského oka

Rozlišují se tyto tři oblasti [22]:

- **Zorné pole** – je část prostoru, kterou člověk vidí před jedním okem za předpokladu, že nepohybuje hlavou ani očima.
- **Pohledové pole** – je oblast, kterou člověk zachytí pohledem za předpokladu, že pohybuje pouze očima a hlava zůstává v klidu.
- **Rozhledové pole** – je oblast, kterou člověk zachytí pohledem při pohybu očí i hlavy.



Obrázek 18: Úhlové rozmezí pro pohyb hlavy a očí [22]

2.3 Fyziologie vidění lidského oka

Zrakové vjemy, které řidič přijímá, jsou nejdůležitějšími vjemy ovlivňující bezpečnost silničního provozu. Fráze „Vidět a být viděn“ zde hraje významnou roli, přičemž slovem „vidět“ je myšleno kvalitní osvětlení vozovky a dobrý výhled z vozidla. Naopak slovem „být viděn“ je myšlena pasivní viditelnost vozidla, jako jsou barva vozidla a osvětlení vozidla včetně výstražné signalizace. Uvedená fráze se váže hlavně k jednomu konkrétnímu vjemovému orgánu a tím je lidské oko [23].

Zrakovým vnímáním získává člověk nejdůležitější informace potřebné pro další rozhodování. Oko obsahuje oblasti s různou rozlišovací schopností, proto se u oka rozlišuje centrální a periferní vidění. 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. 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 [23].

U zrakového vnímání je nutno také hodnotit i kvalitu vnímání s ohledem na následující parametry [24]:

- Ostrost vidění, kdy je myšlena kvalita foveálního¹ vidění.
- Rozlišení mezi fixací zraku a těkavými vyhledávacími mikro pohyby.
- Komplexnost vnímání a množství informací.

2.4 Obecná forma reakční doby řidiče

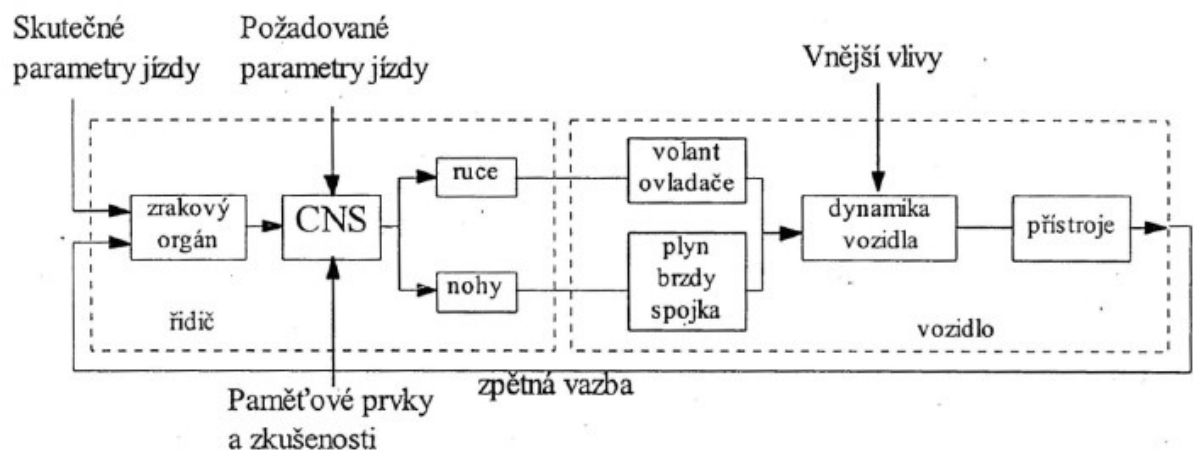
Za reakční dobu řidiče je možné považovat dobu, která je nutná k tomu, aby řidičův biologický systém zareagoval na podnět, který se nachází v zorném poli řidiče, a to i v takových

¹ Foveálního – procesy probíhající na ústřední jamce s nejvyšší přesností a ostrostí vidění.

případech, kdy se jedná o podnět náhlý a neočekávaný. Jednoduchou analýzu nehodového děje lze rozdělit do těchto okamžiků [25]:

- **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.
- **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.
- **Uvědomění** – jedná se o čas potřebný k rozpoznání, interpretování podstaty okolí, vytažení jeho smyslu a předpověď jeho budoucího možného 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 tuto dobu, která se musí rozumově zpracovat.
- **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.

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



Obrázek 19: Blokové schéma – Řidič vs. Vozidlo [26]

Z blokového schéma provázanosti biologického činitele (řidič) a technickým zařízením (vozidlo) jasně vyplývá, že klíčovou roli má lidský činitel, v tomto případě řidič [26].

„Ze souhrnu funkčních bloků řidiče a vozidla je také zřejmé, že v těch případech, kdy je proces rozpoznávání přerušen jinou, pro řidiče v daném okamžiku upřednostněnou, vyšší funkční činností (telefonování, hádka se spolujezdcem apod.), která je tak nadřazena procesu zrakového rozpoznávání, potom však platí kruté lapidární rčení - viděl, nerozpoznal, nepřežil.“ [26].

2.4.1 Optická reakce

Jedná se o počátek vidění objektu, tedy doba potřebná na postřehnutí podnětu, který není v kritickém okamžiku v jeho přímém výhledu. Je důležité upozornit na skutečnost, že v tento okamžik se nejedná o rozpoznání podnětu. Je-li podnět řidičem přímo sledován, pak čas optické reakce lze uvažovat jako nulový. Zrakové vnímání je zásadní při řízení vozidla a řidič jím získává okolo 90 % všech informací. Doba optické reakce se pohybuje v rozmezí 0-0,7 sekundy a závisí na velikosti úhlové odchylky podnětu od směru pohledu řidiče [21].

2.4.2 Psychická reakce

Jedná se o dobu nutnou k rozpoznání a vyhodnocení podnětu. Tato doba není konstantní a je závislá především na faktorech, jako je složitost situace, únava řidiče či požití návykových látek. Velký vliv na tuto dobu mají i zkušenosti z dřívějších událostí, které jsou uloženy v paměti a jsou tedy řidiči známé. Dalším parametrem, který zkracuje psychickou reakci, je očekávání budoucího děje. Naopak vzniklá situace, která má více možností řešení, psychickou reakci prodlužuje. V případě řidiče motorového vozidla lze považovat za začátek psychické reakce okamžik snímání nohy z pedálu akcelerace. Doba psychické reakce se obecně pohybuje v rozmezí 0,2 – 0,6 sekundy [21], [27].

2.4.3 Svalová reakce

Jedná se o vlastní odpověď biologického systému na podnět a navazuje přímo na reakci psychickou. Svalová reakce začíná v okamžiku, kdy nervový vzruch, který se šíří pohybovými nervy, je zakončen v nervosvalových ploténkách, je převeden na stah a dochází k motorickým funkcím. Hlavními parametry jsou trénovanost svalstva každé osoby a optimální trajektorie pohybu. Trénované osoby mají předpoklad zkracovat dobu svalové reakce. V případě řidiče

motorového vozidla se jedná čas od ukončení psychické reakce do dotyku brzdového pedálu. Doba svalové reakce je přibližně 0,2 sekundy [21], [27].

2.4.4 Členění reakční doby ve vztahu Řidič vs. Vozidlo

V případě nouzového brzdění lze rozdělit reakční dobu řidiče na jednotlivé časové úseky, které odpovídají danému typu reakce, jak je uvedeno v Tabulce č. 2 [28].

Tabulka 2: Popis časových úseků při nouzovém brzdění [28]

Pořad. číslo	Hranice časového úseku	Název časového úseku
1	Počátek optického vnímání nebezpečného objektu	Optická reakce
2	Počátek ostrého optického vnímání objektu	Optická a psychická reakce
3	Začátek svalové reakce	Psychická a svalová reakce
4	Dotyk brzdového pedálu	Svalová reakce a prodleva brzd
5	První dotyk třecích ploch brzd	Prodleva brzd a náběh brzd
6	Začátek zanechávání stop pneumatik na vozovce	Náběhy brzd

2.4.5 Časový přehled jednotlivých úseků reakční doby a odezvy vozidla

Z níže uvedené tabulky vyplývá, že jednoznačně bezpečná doba, kdy 98 % řidičů je schopno adekvátně reagovat na brzdění vpředu jedoucích vozidel a bezpečně za nimi zastavit, je 2,04 sekundy. Tabulka č. 3 je v posledním sloupci doplněna o ujetou dráhu motorového vozidla v metrech při rychlosti 90 kmh^{-1} [29].

Tabulka 3: Přehled úseků reakční doby, odezvy vozidla a ujeté vzdálenosti [30]

Druh reakce a odezvy		Doba trvání [s]		Ujetá dráha (horní mez) [m]
		Spodní mez 2 %	Horní mez 98 %	
Optická reakce	Řidič přímo pozoruje kritický objekt	0,00	0,00	0,0
	Řidič sledoval jiný objekt v rozsahu do 5°	0,32	0,55	13,75
	Řidič sledoval jiný objekt v rozsahu nad 5°	0,45	0,70	17,50
Psychická reakce (rozhodování)		0,22	0,58	14,50
Svalová reakce (přesun nohy z pedálu na pedál)		0,15	0,21	5,25
Odezva vozidla	Prodleva brzd (od dotyku pedálu po první dotyk třecích ploch)	0,03	0,06	1,50
	Náběh brzdného účinku (od prvního dotyku třecích ploch brzd po začátek zanechávání stop pneumatik na vozovce)	0,07	0,49	12,25
Celková doba do účinku brzd		0,10	0,55	13,75
Celkem	Řidič přímo pozoruje kritický objekt	0,47	1,34	33,50
	Řidič sledoval jiný objekt v rozsahu do 5°	0,79	1,89	47,25
	Řidič sledoval jiný objekt v rozsahu nad 5°	0,92	2,04	51,00

2.5 Faktory prodlužující reakční dobu řidiče

Lidský faktor

Jak už bylo zmíněno, lidský faktor zásadně ovlivňuje celkovou reakční dobu. Pod tento bod lze například zahrnout [23]:

- *CNS* – nervová onemocnění mohou například způsobit problémy s motorickými drahami.

- **Věk** – bylo zjištěno, že s rostoucím věkem se reakční doba prodlužuje. „Asi 70 % osob starších šedesáti let potřebuje třikrát vyšší kontrast, k dosažení průměrného vidění, oproti osobám dvacetiletým. Tito lidé mají problémy s viděním při nedostatečném osvětlení“ [24].
- **Pohlaví** – na základě provedených studií lze konstatovat, že muži obvykle reagují rychleji než ženy.
- **Trénovanost a strach** – především u začínajících řidičů bez dostatečných zkušeností, které nejsou osvojeny a zautomatizovány, dochází k prodloužení reakční doby. Také strach z možné chyby může prodloužit čas rozhodování a tím i celkovou reakční dobu.
- **Emoce a nálada** – agresivní a nekoncentrovaný řidič má unáhlené a nepřesné reakce, které se snaží při další příležitosti napravit a věnuje tak více času na reakci.
- **Stres a únava** – tyto faktory obecně prodlužují reakční dobu. Se zvyšujícím se stresem a únavou se prodlužuje reakční doba.
- **Odvrácení pohledu** – z výsledků studie vyplynulo, že více než 77 % všech pohledů na reklamní zařízení bylo kratší než 0,75 sekundy. Je však zapotřebí dodat, že 0,75 sekundy odpovídá ujetí 27 m při rychlosti 130 kmh⁻¹ a 19 m při rychlosti 90 kmh⁻¹ [31].
- **Četnost mrkání** – při jízdě v noci oslněním protijedoucího vozidla dochází u oka k vyšší četnosti mrkání a delší době zavřených očí než v případě, kdy oko řidiče není oslněno protisvětlem. Z níže uvedené tabulky vyplývá, že vlivem mrkání došlo ve sledovaném časovém úseku k dočasné ztrátě vizuální informace u více než 25 % dispozičního času [24].

Tabulka 4: Přehled počtu mrknutí a doby jejich trvání [24]

Sledovaný časový interval	Počet mrknutí [] / doba jejich trvání [s]	Podíl doby zavřeného oka [%]
Bez ovlivnění	5 / 1,08	17,88
Svit z protisměru (1. vozidlo)	6 / 1,12	18,54
Bez ovlivnění	7 / 1,52	25,17
Svit z protisměru (2. vozidlo)	8 / 1,28	21,19

Sledované časové intervaly jsou s délkou trvání každého intervalu vždy 6 sekund.

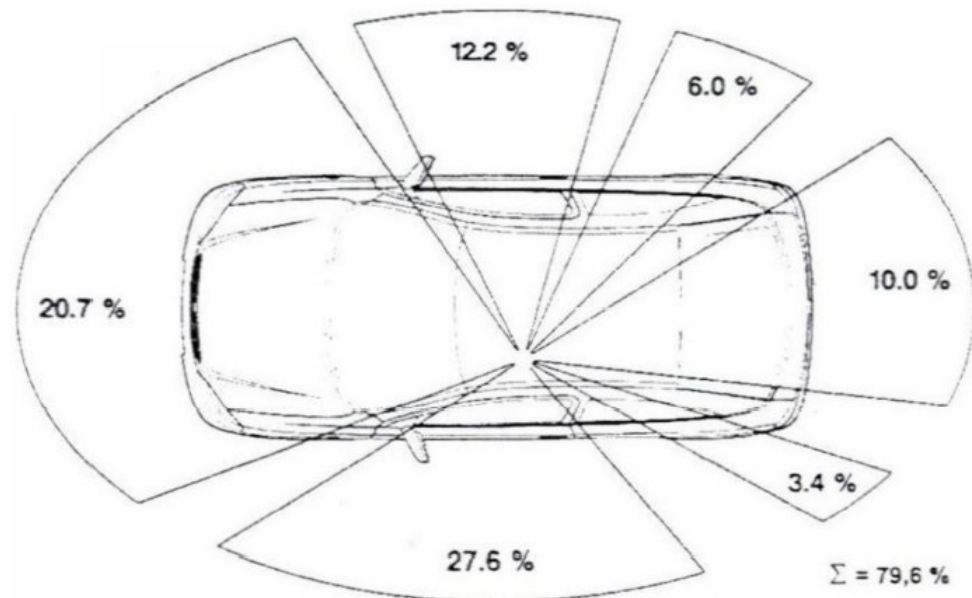
Do výčtu bodů spadajících pod lidský faktor lze zařadit také:

- změny zdravotního stavu a bolest,
- nedostatek úsudku nebo psychické způsobilosti,
- hlad a žízeň.

Výhled z vozidla

Dobry výhled z vozidla a přehled o dění kolem vozidla jsou základem pro správné a bezpečné rozhodování. V závislosti na modelu vozidla je z celkového výhledu vozidla přibližně 20 % zastíněno karoserií. 80 % výhledu se může na první pohled zdát dostatečný, ale většině řidičů je známa situace, kdy mohutný A-sloupek moderních automobilů zastíní chodce, překážku nebo i jiný automobil na křižovatce [22].

K zajištění vyhovujícího výhledu z vozidla a dobré viditelnosti brzdových světel je nutné udržovat i čistotu čelního skla. Nečistoty a nevhodně umyté čelní sklo mohou způsobovat lomy a odrazy světla. Toto může následně zapříčinit lom nebo odraz světla, který je pro oko nepříjemný, kdy dochází k únavě oka, což může způsobit prodloužení reakční doby řidiče.



Obrázek 20: Výhled z vozidla OPEL Astra hatchback [22]

Látky měnící psychický stav a vědomí [21], [23]

Do této skupiny látek zařazujeme omamné látky, jako jsou drogy, alkohol a některé léky. Řízení motorového vozidla pod vlivem drog a alkoholu je velmi nebezpečné pro řidiče, ale především pro ostatní účastníky silničního provozu. Řízení pod vlivem omamných látek je zakázáno, protože řidič pod vlivem omamných látek není schopný plně kontrolovat jízdu motorového vozidla.

„O alkoholu je mnoho mýtů ve smyslu nezkreslení reakcí při malých koncentracích v krvi, ovšem již při 0,3 promile alkoholu v krvi se zhoršuje zrak. Při koncentraci půl promile se zhoršují psychomotorické pohyby, projevují se nedostatky ve vnímání hloubky i pohybu a nastávají chyby v zautomatizovaných pohybech.“ [21].

Mezi léky, které snižují bdělost a reakce řidiče, patří hlavně takzvané tlumivé léky. Každý řidič, který užívá tlumivé léky, by neměl bez výslovného souhlasu lékaře pod vlivem těchto léků řídit motorové vozidlo.

Podmínky prostředí

Podmínky prostředí mají zásadní vliv na reakční dobu řidiče. Prostředím je myšlena dobrá viditelnost podnětu, kterou ovlivňují denní nebo noční doba a také meteorologické podmínky jako jsou mlha, hustý déšť, sníh a přímé slunce. V případě viditelnosti brzdových světel přímé intenzivní sluneční světlo dopadající na zadní svítlnu může způsobit, že zadní svítlna působí jako trvale rozsvícená. Případně je rozdíl při rozsvícení brzdového světla minimální a tím dojde v obou případech ke zhoršení rozlišovací schopnosti řidiče a tím i prodloužení jeho reakční doby. Dále zde lze zařadit hustotu provozu, charakteristiku komunikace a nejasné silniční značení. Mezi další faktory lze zařadit vhodné mikroklima ve vozidle, vibrace a hluk, jako například hlasitá hudba.

„Výzkumy prokázaly, že řidič jedoucí v autě s příliš hlasitou hudbou má o 0,16 sekundy delší reakční dobu. Při rychlosti 100 kmh⁻¹ to znamená, že takový řidič zastaví o 4 metry dál!“ [32].

2.6 Faktory zkracující reakční dobu řidiče

Minimální reakční doba každého řidiče má svůj limit v případě, kdy výše uvedené faktory jsou maximálně využity ve prospěch řidiče a ten je tedy dokonale fyzicky připravený reagovat v nejkratších možných časech. Také schopnost řidiče očekávat stav, kdy podnět nastane, reakční dobu zkracuje. Pro další zkracování reakční doby řidiče by bylo nutné vybrat jedno

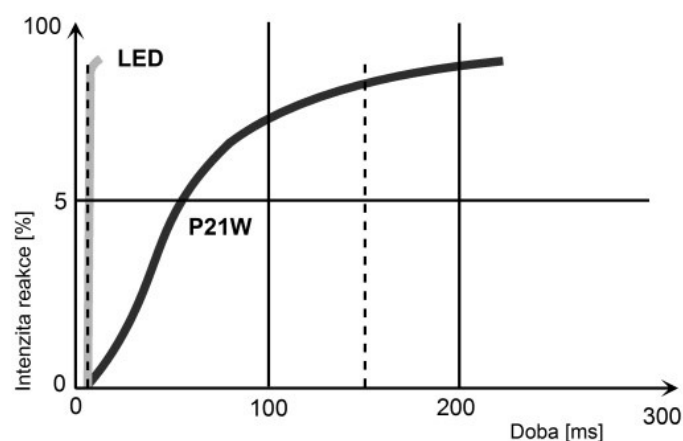
z těchto řešení: Využít povzbuzující látky jako například kofein. V diplomové práci Bc. Miroslava Bauerová s názvem „*Vliv kofeinu na změnu reakční doby*“ bylo prokázáno, že kofein ve formě kofeinových tablet nebo energetického nápoje zkracují reakční dobu o přibližně 25 milisekund.

Další možností je vybavit motorové vozidlo novými technologiemi a asistenčními systémy. Tyto technologie a asistenční systémy postupně přestávají být luxusním doplňkem motorových vozidel a postupně přecházejí v komfortní výbavu finančně dosažitelnou pro širší skupinu zákazníků a v některých případech se jedná už o standardní výbavu každého vozidla. Otázkou je, zda některé pomocné systémy nejsou pro člověka kontraproduktivní tím, že snižují jeho trénovanost reakcí a správné řešení nečekaných situací.

Níže budou uvedeny vybrané asistenční systémy, které mohou mít přímý vliv na reakční dobu řidiče v závislosti na situaci před vozidlem.

LED diody a OLED diody

Tyto technologie jsou popsány v kapitolách 1.5.2 a 1.5.3 včetně moderních prvků více viz kapitola 1.8. Nahrazením klasických žárovek žárovkami využívající technologii LED a OLED diod lze zvýšit rychlost plného rozsvícení brzdového světla až o 0,2 sekundy viz Obrázek č. 21, čímž může vzadu jedoucí vozidlo rychleji zareagovat. Ověřit rychlost těchto reakcí je zároveň cílem této práce a bude zpracováno v experimentální části této práce.



Obrázek 21: Porovnání rychlostí rozsvícení žárovky P21 W a LED diody [4]

Head-up display

Tato technologie umožňuje časté a zároveň nezbytné kontrolování přístrojové desky, aniž by musel řidič odvracet pohled, čímž by krátkodobě přestal sledovat situaci před vozidlem. Princip spočívá v projekci důležitých informací do zorného pole řidiče.

Systémy hlídání bdělosti řidiče

Tyto systémy pracují níže uvedenými dvěma způsoby: Prvním způsobem je nasbírání dat o charakteru řidiče v prvních 15 minutách jízdy a následně jejich porovnávání s aktuálním charakterem jízdy. Systém následně vyhodnotí možné snížení bdělosti řidiče a upozorní na vhodnost přestávky. Jedná se o systém používaný společností Volkswagen. Druhý systém od společnosti Panasonic se liší tím, že shromažďuje data z kamery a infrakamery snímající obličej řidiče. „*Systém rozpozná příchod ospalosti pomocí změny mrkání, výrazu tváře a tepelného vyzařování.*“ [21].

Přednázorový systém se dvěma senzory (DSBS) [33]

Tento systém využívá kameru s monokulární optikou a laserový senzor, které sledují, zda nehrozí srážka s vpředu jedoucím vozem. Při zjištění rizika systém podle situace reaguje jedním z těchto tří způsobů:

- Varuje řidiče zvukovým signálem a vizuální kontrolkou.
- Pokud je riziko srážky vysoké a řidič panicky brzdí, systém aktivuje brzdový asistent, který zvýší brzdnou sílu.
- Pokud je riziko srážky nevyhnutelné, systém začne naplno automaticky brzdit.

Systém nouzového brzdění (RBS) [33]

Tento systém využívá radaru s milimetrovými vlnami, který sleduje vpředu jedoucí vozidla. Při zjištění rizika systém podle situace reaguje jedním z těchto čtyř způsobů:

- Varování – varuje řidiče, že hrozí nehoda.
- Samočinné lehké přibrzdění – varuje řidiče mírným přibrzděním.
- Zvýšení brzdné síly – pomáhá řidiči zesílením brzdného účinku.
- Automatické brzdění – automaticky brzdí.

Adaptivní tempomat

Vozidlo vybavené radarem s milimetrovými vlnami sleduje vozidlo jedoucí vpředu a automaticky zachovává nastavený rozestup vozidel. Systém řízeně zpomaluje nebo automaticky zrychluje v závislosti na situaci před vozidlem [33].

Systémy nočního vidění

I přes stále dokonalejší světlomety mají systémy nočního vidění budoucnost, protože pokryjí prostor se zhoršenou 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 dokáží rozpoznat chodce nebo zvíře, které jsou v blízkosti předpokládané dráhy vozidla a v případě nebezpečí včas řidiče varují na displeji přístrojové desky nebo pomocí Head-up displeje [34].

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.
- **Pasivní** – které používají firmy Audi, BMW, Cadillac a Honda. 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 až 300 metrů.

B2V „Brain-to-vehicle“

Toto řešení ukazuje, že vývoj v oblasti bezpečnosti a zkracování reakční doby řidiče hraje v současnosti důležitou roli u všech výrobců motorových vozidel. Technologie vyvinutá firmou Nissan dokáže zpracovat a interpretovat signály z mozku řidiče. Zařízení, které má řidič na hlavě, snímá činnost mozku a zaznamenává, zda chce zatočit volantem, zabrzdit nebo zrychlit vozidlo. Autonomní systém zaznamenané signály zpracovává a je schopen vjemy zpracovat rychleji než lidské tělo. Tato technologie zajistí, že vozidlo dostane informaci ke zpracování v okamžiku zaznamenání vjemu řidičem. Testy bylo prokázáno, že rychlost technologie B2V je o 0,2 – 0,5 sekundy rychlejší proti reakci samotného člověka [35].

2.7 Dílčí závěr

Reakční době řidiče je důležité věnovat maximální pozornost. Reakční doba řidiče přímo ovlivňuje bezpečnost silničního provozu a celkový průběh krizových situací. Tyto situace mohou vyústit v nehodu, při které dochází k majetkovým ztrátám i ztrátám na životech. Při vyšetřování reakční rychlosti řidičů jsou zkoumány velmi krátké intervaly, které jsou mnohdy vykonávány automaticky a samotní řidiči tyto krátké časy většinou neregistrují. Každé prodloužení reakční doby, byť sebemenší, je vážné a prodlužuje tak celkovou dráhu potřebnou k bezpečnému zastavení vozidla. Proto je nutné tyto relativně krátké časy vždy doplnit o ujetou vzdálenost při dané rychlosti. V následující tabulce je uveden přehled časů věnovaný některému ze sdělovačů s porovnáním ujeté dráhy vozidla.

Tabulka 5: „Čas pozornosti věnovaný různým sdělovačům (dle Taoka, 1990)“ [31]

Druh sdělovače	Pokusné osoby			Rychlosti [km/h]		
	5 %	50 %	95 %	50	90	130
	Doba sledování [s]			Ujetá dráha [m]		
Tachometr	0,16	0,49	1,51	21	38	55
Zpětné zrcátko vnitřní	0,32	0,68	1,43	20	36	52
Levé boční zrcátko	0,68	1,06	1,65	23	41	60
Sdělovač vnější teploty	0,48	0,99	2,08	29	52	75
Klimatizace	0,44	1,01	2,30	32	58	83
Rádio	0,68	1,27	2,35	33	59	85
Tabule s názvem ulic	0,68	1,46	3,14	44	79	113

Z Tabulky č. 8 je zřejmé, že pro 95 % řidičů běžný odklon pohledu od situace před vozidlem se zásadně projeví na ujeté dráze vozidla. Vozidlo po tuto dobu nebylo pod plnou kontrolou řidiče a zároveň řidičova reakční doba se prodlužuje.

U agresivního řidiče, který nerespektuje maximální povolenou rychlost, tyto dráhy v případě pohledu na rádio vypadají následovně: Při 160 kmh⁻¹ bude ujetá dráha 104 m, při 200 kmh⁻¹ bude ujetá dráha 131 m a při 250 kmh⁻¹ bude ujetá dráha 163 m, kdy vozidlo nebylo plně pod kontrolou řidiče, což je přibližně délka dvou fotbalových hřišť. Z výše uvedených důvodů je nutné se reakční dobou řidiče zabývat a hledat nová řešení pro její zkracování a zvýšit tak bezpečnost silničního provozu.

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

3.1 Formulace problému

Reakční doba řidiče úzce souvisí s dodržováním bezpečného odstupu mezi jedoucimi vozidly. Dle ČSN 73 6101 Projektování silnic a dálnic je stanovena doba postřehu a reakce na 1,5 sekundy. V praxi je lepší v souladu s doporučením BESIP² počítat s dobou 2 sekundy. Velká část ze všech nehod je způsobena právě nedodržováním bezpečné vzdálenosti, kdy řidič nestačil včas a správně zareagovat na vzniklou situaci. Z hlediska bezpečnosti silničního provozu je třeba se zaměřit na opatření, které zajistí dodržování bezpečné vzdálenosti, a které zkrátí reakční dobu řidiče [27].

3.2 Definování měřené reakční doby řidiče a měřené veličiny

- **Optický signál OS** – je začátkem měřené reakční doby a je stanoven okamžikem dotyku nohy na brzdový pedál vedoucího³ vozidla. Následné sešlápnutí pedálu rozsvítí brzdová světla, která budou reakčním podnětem pro testovanou osobu ve druhém vozidle.
- **„Brzdový signál BS** – je signál, který udává okamžik počátku brzdění“ [37] vozidla s testovanou osobou. Zároveň bude udávat konec měřené reakční doby na optický podnět. Je stanoven okamžikem dotyku nohy testované osoby na brzdový pedál a následného rozsvícení brzdových světel druhého vozidla.
- **Reakční doba řidiče RDŘ** – je vypočtena z měřící ústřednou zaznamenaných signálů. Každému signálu odpovídá konkrétní časový interval. Výpočet reakční doby řidiče je dán vztahem (1):

$$RD\check{R} = BS(t) - OS(t) \quad [s] \quad (1)$$

² BESIP - je oddělení Ministerstva dopravy ČR koordinující činnosti v oblasti bezpečnosti na pozemních komunikacích a působení na lidského činitele.

³ Vedoucí vozidlo – vozidlo stojící před vozidlem s testovanou osobou.

3.3 Podmínky měřicího systému

Popis měřicího systému

Ke svorkám brzdové svítilny vedoucího vozidla jsem připojil černý vodič a červenočerný vodič, který jsem dále připojil k odpojovacímu relé v sepnutém stavu. Z odpojovacího relé jsem černý vodič a červenočerný vodič napojil na měřicí ústřednu. Tímto zapojením jsem zajistil, že v okamžiku sešlápnutí brzdového pedálu dojde k aktivaci brzdového světla vedoucího vozidla, které bude představovat jednoduchý optický podnět pro testovanou osobu. Zároveň bude měřicí ústřednou zaznamenán Optický signál *OS* vedoucího vozidla skokovou změnou vstupního parametru.

Ve druhém vozidle jsem nainstaloval měřicí systém, který se nachází ve Výukovém a výzkumném centru v dopravě. „Bližší specifikace o měřicím řetězci jsou uvedeny v [36]“. Zároveň jsem ke svorkám brzdové svítilny druhého vozidla připojil bílé vodiče, které jsem připojil k odpojovacímu relé. Tímto zapojením jsem zajistil, že v okamžiku sešlápnutí brzdového pedálu dojde k aktivaci brzdového světla vozidla s testovanou osobou a zároveň dojde k rozpojení odpojovacího relé. Měřicí ústřednou bude zaznamenána skoková změna vstupního parametru na počáteční hladinu, což bude představovat Brzdový signál *BS* vozidla s testovanou osobou. Obecný průběh měřených signálů je graficky znázorněn v Příloze A.



Obrázek 22: Zapojení měřicí ústředny a odpojovacího relé

Výběr světelných zdrojů

Pro experiment jsem vybral tyto světelné zdroje: Dvouvláknová klasická žárovka P 21/4 W určená pro zadní obrysové světlo a brzdové světlo. Její alternativa v provedení LED žárovka. Tato LED žárovka nemá potřebnou homologaci pro provoz na pozemních komunikacích. Použité LED žárovky jsou na Obrázku č. 23. Jejich parametry jsou uvedeny v Tabulce č. 6.



Obrázek 23: LED žárovky P21/4 W

Tabulka 6: Parametry zvolených zdrojů

Parametry světelných zdrojů	Klasická žárovka	LED žárovka
Typ	P 21/4 W	P 21/4 W
Napětí [V]	12	12
Jmenovitý výkon [W]	21 /4	1,6 / 0,5
Patice	BAZ15d	BAZ15d
Světelný tok [lm]	440/15	300/20
Chromaticnost [K]	2700 (teplá bílá)	6000 (studená bílá)

Výběr vozidel

Pro experiment jsem vybral testovací vozy Škoda Rapid a Škoda Superb. Vedoucí vozidlo, které bude iniciovat reakční podnět, jsem vybral z důvodu snadné výměny zdroje brzdového světla. Parametry zkušebních vozidel jsou v Tabulce č. 7.

Tabulka 7: Parametry zvolených vozidel

Parametry vozidel		Vedoucí vozidlo	Vozidlo testované osoby
Značka / typ vozidla		Škoda Rapid	Škoda Superb
Rok výroby		2016	2016
Druh vozidla		Osobní	Osobní
Převodovka		Manuální	Automatická
Celková hmotnost [kg]		1630	2275
Vnější rozměry	Výška [mm]	1461	1477
	Délka [mm]	4483	4856
	Šířka [mm]	1706	1864
	Rozvor [mm]	2602	2841
Motor	Zdvihový objem [cm ³]	999	1984
	Počet válců	3	4
	Maximální výkon [kW]	70	206
	Maximální točivý moment [Nm]	160	350
	Maximální rychlost [kmh ⁻¹]	187	250
	Zrychlení 0-100 kmh ⁻¹ [s]	11,0	5,8

Výběr místa měření

Experiment má prokázat velikost rozdílu reakční doby řidiče v případě použití výše uvedených zdrojů světla. Pro eliminaci změny světelných podmínek závislých na meteorologických podmínkách se celý experiment uskutečnil v laboratoři areálu Výukového a výzkumného centra v dopravě. Zkušební plocha byla rovná a zpevněná. Vedoucí vozidlo bylo přímo viditelné z druhého vozidla. Osvětlení místa měření bylo konstantní.



Obrázek 24: Poloha testovaných vozidel

Testované osoby

Experimentu měření reakční doby řidiče se zúčastnilo 4 muži a 1 žena ve věkovém rozpětí 27 až 44 let. Každá testovaná osoba měla svou Identifikační kartu měření, do které byly zaznamenány základní údaje jako jsou:

- osobní číslo,
- věk a pohlaví,
- vlastnictví řidičského průkazu a roční nájezd km,
- ovlivnění léky, zdravotní nebo psychické potíže,
- datum, čas a místo,
- podmínky měření.

Dále byly do identifikační karty doplněny časové údaje s výsledky reakčních dob a poznámky popisující chybové signály z průběhu měření.

IDENTIFIKAČNÍ KARTA MĚŘENÍ					
Osobní č.:		Pohlaví:		Datum:	
ŘP:		Věk:		Čas:	
Ročně km:		Ovlivnění:		Místo:	
Podmínky:					
Klasická žárovka [s]			LED žárovka [s]		
BS	OS	RDŘ	BS	OS	RDŘ
Medián [s]:			Medián [s]:		
Výsledný rozdíl reakční doby řidiče [s]:					

Poznámky:

Legenda: ŘP – řidičský průkaz, OS – Optický signál, BS – Brzdový signál
 RDŘ – reakční doba řidiče

Obrázek 25: Identifikační karta měření

3.4 Určení reálných situací

Reakční podnět

Pro měření reakční doby byl definován jednoduchý optický podnět. Optickým podnětem byla zvolena soustava zadních brzdových světel vedoucího vozidla přímo viditelných z druhého vozidla. V tomto případě se jednalo o dvě brzdová světla umístěná v zadních skupinových svítelnách. Aktivní střední brzdové světlo by ovlivňovalo výsledky celého experimentu, proto byla střední brzdová svítelna, u které je zdrojem LED dioda, demontována. Úkolem testovaných osob bylo maximálně sešlápnout pedál akcelerace a v okamžiku zaregistrování rozsvícení brzdových světel vedoucího vozidla sešlápnout brzdový pedál v nejkratší možné době [38].

Popis experimentu

Pro tento experiment jsem zvolil statický test, kdy obě vozidla byla od sebe zastavena v předem určené vzdálenosti. Tato situace se odlišuje od reálného provozu tím, že bylo použito mnoho zjednodušení skutečných situací, které v běžném provozu nastávají, tak aby reakční doba nebyla ovlivněna nežádoucími podněty vycházejícími z jízdy vozidla. Pro změření rozdílu reakční doby řidiče při použití různých zdrojů světla byl tento experiment dostačující.

Vedoucí vozidlo v nahodilých časových intervalech rozsvěcovalo brzdová světla po stanovenou dobu, čímž aktivovalo reakční podněty pro testovanou osobu ve druhém vozidle. Testovaná osoba na tyto podněty reagovala sešlápnutím brzdového pedálu. Měření reakční doby probíhalo v laboratoři při umělém a částečně denním osvětlení za předem stanovených podmínek.

Zvolené reálné situace

- Vedoucí vozidlo zastaveno před vozidlem s testovanou osobou.
 - Podmínky prostředí – umělé a částečně denní osvětlení.
 - Nastavení vozidla – zhasnutá zadní obrysová světla, neaktivní třetí brzdové světlo.
- Vedoucí vozidlo zastaveno před vozidlem s testovanou osobou.
 - Podmínky prostředí – umělé a částečně denní osvětlení.
 - Nastavení vozidla – rozsvícená zadní obrysová světla, neaktivní třetí brzdové světlo.

Úkoly testované osoby

V průběhu všech experimentů měly testované osoby tyto úkoly:

- Maximální sešlápnutí pedálu akcelerace.
- Sledování situace před vozidlem.
- Reagovat na reakční podnět – uvolněním pedálu akcelerace a sešlápnutím brzdového pedálu.

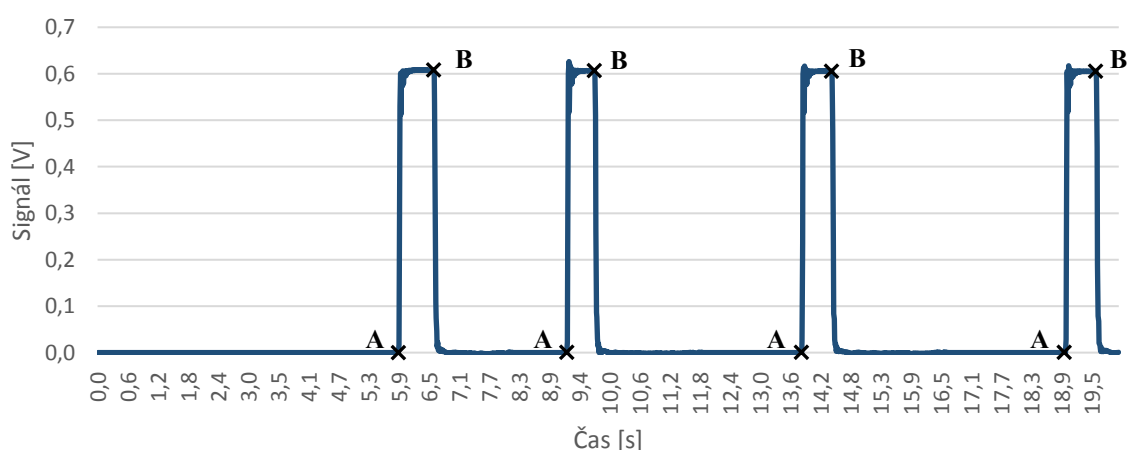
Ověření zapojení měřícího zařízení

Před spuštěním experimentu byla ověřena správnost zapojení měřícího zařízení pokusem, kdy byly sledovány změny v průběhu signálu přijímaného ústřednou. Pokus se skládal z následujících kroků:

- Spuštění programu v počítači. Výsledek – signál udržoval konstantní hodnotu.
- Sešlápnutí brzdového pedálu vedoucího vozidla. Výsledek – signál skokově změnil hodnotu na vyšší.
- Sešlápnutí brzdového pedálu druhého vozidla. Výsledek – signál skokově změnil hodnotu a snížil se na původní hodnotu.

Tímto pokusem bylo ověřeno, že měřící zařízení zaznamenává data dle očekávání a bylo tedy správně zapojeno.

Část průběhu měřeného signálu - testovaná osoba č. 1



Body **A** označují polohy okamžiků aktivace brzdových světel a vyvolání reakčního podnětu.

Body **B** označují polohy okamžiků reakce na vyvolaný reakční podnět.

Obrázek 26: Průběh měřeného signálu s popisem

4 EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ ROZDÍLU REAKČNÍ DOBY ŘIDIČE NA BRZDOVÁ SVĚTLA S BĚŽNOU ŽÁROVKOU A S LED ŽÁROVKOU

4.1 Metodika experimentu

Všechny experimenty probíhaly dle tohoto schématu:

- Příprava testované osoby s vysvětlením průběhu experimentu.
- Přidělení osobního čísla a založení identifikační karty měření.
- Spuštění programu v počítači.
- Signál posádkám obou vozidel o začátku experimentu.
- Rozsvícení brzdových světel vedoucího vozidla v nepravidelných intervalech po dobu přibližně 1 sekundy.
- Sešlápnutí brzdového pedálu druhého vozidla.
- Opakování aktivace reakčního podnětu přibližně 20krát.
- Ukončení experimentu.
- Ukončení spuštěného programu v počítači.
- Uložení naměřených hodnot do samostatného souboru pro každou testovanou osobu.
- Zpracování získaných dat.
- Vyhodnocení výsledků.

4.2 Varianty experimentu

Experiment A:

- Vedoucí vozidlo zastaveno před vozidlem s testovanou osobou ve vzdálenosti 2,5 metrů.
 - Podmínky prostředí – umělé a částečně denní osvětlení.
 - Nastavení vozidla – zhasnutá zadní obrysová světla, neaktivní třetí brzdové světlo.

Experiment B:

- Vedoucí vozidlo zastaveno před vozidlem s testovanou osobou ve vzdálenosti 2,5 metrů.
 - Podmínky prostředí – umělé a částečně denní osvětlení.
 - Nastavení vozidla – rozsvícená zadní obrysová světla, neaktivní třetí brzdové světlo.

Oba experimenty byly uskutečněny nejdříve s klasickou žárovkou a poté byly zopakovány s LED žárovkou s každou testovanou osobou.

4.3 Postup při sběru a vyhodnocení záznamů

Základní údaje každé testované osoby včetně osobního čísla jsem zaznamenal do identifikační karty měření. Tyto záznamy sloužily jako podklad pro vyhodnocení výsledků měření.

Z použitého software, jehož bližší specifikace jsou uvedeny v [36], jsem exportoval data do souborů označených časem měření. Tyto soubory jsem přiřadil k jednotlivým osobním číslům dle průběhu měření. Dále jsem manuálně vyhodnotil průběh měření, a to hlavně z důvodu snadnější identifikace výrazných výchylek signálů. Za tyto výchylky lze pokládat nepřiměřené prodloužení reakční doby vyvolané odpoutáním pozornosti testované osoby. Mezi tyto výchylky lze také zařadit zachycení signálu reakce bez vyvolaného reakčního podnětu. Dalším příkladem je signál, kdy testovaná osoba na podnět nereagovala vůbec. Získaná data byla zpracována a vyhodnocena pomocí software MS Excel 2016 [38].

5 ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH DAT

5.1 Porovnání rychlosti dosažení maximálního rozsvícení použitých zdrojů světla

Cílem tohoto dílčího experimentu bylo ověřit skutečnost, že LED žárovka se rozsvítí téměř ihned po sešlápnutí brzdového pedálu oproti klasické žárovce, která dosahuje plného rozsvícení se zpožděním cca 0,2 sekundy po sešlápnutí brzdového pedálu.

Průběh testu:

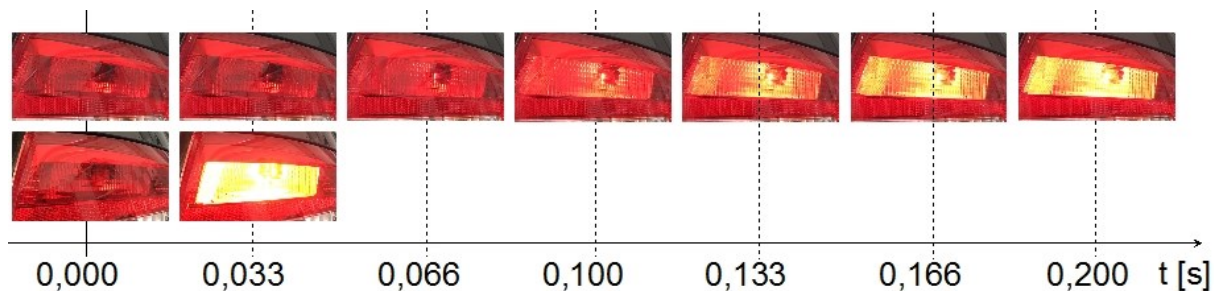
K ověření rychlosti rozsvícení jednotlivých zdrojů světla jsem použil kameru tabletu iPad Pro 10,5⁴, kde rychlost záznamu byla 30 fps⁵. Celkem jsem provedl dva videozáznamy. První videozáznam zaznamenal rozsvícení klasické žárovky a druhý zaznamenal rozsvícení LED žárovky. Pomocí softwaru Video2Photo⁶ jsem pořízený videozáznam rozdělil na jednotlivé snímky po 1/30 sekundy. Jako počátek měření jsem stanovil poslední snímek, u kterého ještě nedošlo k rozsvícení LED žárovky. Konec měření jsem stanovil posledním snímkem, po kterém následoval snímek, který vykazoval stejnou intenzitu světla. Průběh rozsvícení jednotlivých zdrojů je zobrazen na Obrázku č. 26, kde horní řada znázorňuje postupné rozsvícení klasické žárovky a dolní řada postupné rozsvícení LED žárovky. Z uvedených obrázků vyplývá, že průběh rozsvěcování obou zdrojů je v souladu s průběhem naznačeným na Obrázku č. 21 v kapitole 2.6. Tímto zjednodušeným experimentem bylo prokázáno, že klasická žárovka dosáhne maximálního rozsvícení se zpožděním přibližně 0,166 sekundy proti LED žárovce. Pro potřeby experimentu jsem stanovil rozdíl časů do maximálního rozsvícení jako $\Delta\text{Žárovka} = 0,166$ sekundy.

Vzhledem k této skutečnosti bylo na místě experimentálně vyhodnotit, jak tento časový rozdíl ovlivní reakční dobu řidiče.

⁴ iPad Pro 10,5 – obchodní označení výrobku firmy Apple.

⁵ fps – snímková frekvence za 1 sekundu.

⁶ Video2Photo – aplikace pro operační systém iOS.



Obrázek 27: Porovnání rychlosti rozsvícení klasické žárovky a LED žárovky

5.2 Zpracování dat získaných z experimentálního měření

Celkem jsem provedl 422 měření reakčních podnětů, kterých se zúčastnilo 5 osob. Měření probíhalo v denní době v časech od 15:00 do 18:30 hod. Během celého experimentu bylo měřicí ústřednou zaznamenáno celkem 228.305 signálů. Výsledky měření jsem zpracoval a vyhodnotil jak pro jednotlivé osoby, tak pro celou skupinu testovaných osob. Záznamy měření, které byly evidentně chybné, jsem odstranil a nezahrnul do vyhodnocení [39].

5.2.1 Výsledky měření jednotlivých osob

K vyhodnocení reakční doby testovaných osob jsem jako hlavní ukazatel zvolil Medián \tilde{x} vypočítaný dle vztahu (2), jehož výhodou je, že není ovlivněn extrémními hodnotami. Výsledkem je hodnota, pro níž platí, že 50 % naměřených hodnot je stejných nebo vyšších a zároveň 50 % naměřených hodnot je stejných nebo nižších.

$$\tilde{x} = \frac{x_{N/2} + x_{(N/2)+1}}{2}, \quad (2)$$

kde:

$x_{N/2}$ – první hodnota s indexem určujícím pozici v rostoucí posloupnosti hodnot

$x_{(N/2)+1}$ – druhá hodnota s indexem určujícím pozici v rostoucí posloupnosti hodnot

N – počet všech hodnot

Testovaná osoba č. 1

Jednalo se o muže ve věku 44 let, který vlastní řidičský průkaz a ročně najede přibližně 20 000 km. Průběh experimentu byl bez závad. Testovaná osoba se vyjádřila v průběhu testu k LED žárovce, že v případě zapnutých zadních obrysových světel byla viditelnost aktivního brzdového světla minimální. Výsledky měření jsou shrnuty v Tabulce č. 8. U této testované osoby došlo v obou případech ke zkrácení reakční doby na vyvolaný reakční podnět. Konkrétně se jedná o 0,060 sekundy v případě zhasnutých zadních obrysových světel a 0,055 sekundy v případě rozsvícených zadních obrysových světel.

Tabulka 8: Výsledná reakční doba testované osoby č. 1

Testovaná osoba č. 1		Reakce na klasickou žárovku	Reakce na LED žárovku	Rozdíl
Zhasnutá zadní obrysová světla	[s]	0,570	0,510	0,060
Rozsvícená zadní obrysová světla	[s]	0,565	0,510	0,055

Testovaná osoba č. 2

Jednalo se o ženu ve věku 37 let, která vlastní řidičský průkaz a ročně najede přibližně 15 000 km. Průběh experimentu byl bez závad. Testovaná osoba se rovněž vyjádřila v průběhu testu k LED žárovce, že v případě zapnutých zadních obrysových světel byla viditelnost aktivního brzdového světla minimální. Výsledky měření jsou shrnuty v Tabulce č. 9. U této testované osoby nedošlo v případě zhasnutých zadních obrysových světel ke zkrácení reakční doby na vyvolaný reakční podnět. V případě rozsvícených zadních obrysových světel došlo ke zkrácení reakční doby o 0,01 sekundy.

Tabulka 9: Výsledná reakční doba testované osoby č. 2

Testovaná osoba č. 2		Reakce na klasickou žárovku	Reakce na LED žárovku	Rozdíl
Zhasnutá zadní obrysová světla	[s]	0,655	0,660	-0,005
Rozsvícená zadní obrysová světla	[s]	0,660	0,650	0,010

Testovaná osoba č. 3

Jednalo se o muže ve věku 33 let, který vlastní řidičský průkaz a ročně najede přibližně 13 000 km. Průběh experimentu byl bez závad. Testovaná osoba se také vyjádřila v průběhu testu k LED žárovce, že v případě zapnutých zadních obrysových světel byla viditelnost aktivního brzdového světla minimální. Výsledky měření jsou shrnuty v Tabulce č. 10. U této testované osoby došlo v obou případech ke zkrácení reakční doby na vyvolaný reakční podnět. Konkrétně se jedná o 0,035 sekundy v případě zhasnutých zadních obrysových světel a 0,070 sekundy v případě rozsvícených zadních obrysových světel.

Tabulka 10: Výsledná reakční doba testované osoby č. 3

Testovaná osoba č. 3		Reakce na klasickou žárovku	Reakce na LED žárovku	Rozdíl
Zhasnutá zadní obrysová světla	[s]	0,635	0,600	0,035
Rozsvícená zadní obrysová světla	[s]	0,690	0,620	0,070

Testovaná osoba č. 4

Jednalo se o muže ve věku 39 let, který vlastní řidičský průkaz a ročně najede přibližně 21 000 km. V průběhu experimentu došlo ke dvojitému sešlápnutí brzdového pedálu během reakčního podnětu a ke sklouznutí nohy z pedálu. Tyto výchyly byly vyřazeny. Testovaná osoba se také vyjádřila v průběhu testu k LED žárovce, že v případě zapnutých zadních obrysových světel byla viditelnost aktivního brzdového světla minimální. Výsledky měření jsou shrnuty v Tabulce č. 11. U této testované osoby došlo v obou případech ke zkrácení reakční doby na vyvolaný reakční podnět. Konkrétně se jedná o 0,035 sekundy v případě zhasnutých zadních obrysových světel a 0,020 sekundy v případě rozsvícených zadních obrysových světel.

Tabulka 11: Výsledná reakční doba testované osoby č. 4

Testovaná osoba č. 4		Reakce na klasickou žárovku	Reakce na LED žárovku	Rozdíl
Zhasnutá zadní obrysová světla	[s]	0,510	0,475	0,035
Rozsvícená zadní obrysová světla	[s]	0,520	0,500	0,020

Testovaná osoba č. 5

Jednalo se o muže ve věku 27 let, který vlastní řidičský průkaz a ročně najede přibližně 20 000 km. Testovaná osoba se také vyjádřila v průběhu testu k LED žárovce, že v případě zapnutých zadních obrysových světel byla viditelnost aktivního brzdového světla minimální. Zpracovaná naměřená data testované osoby vykazovala nepřiměřený rozptyl hodnot, a v některých případech i extrémní reakční dobu. Tyto extrémní reakce je možné dosáhnout za předpokladu, že noha testované osoby je připravena na pedálu brzdy. Na základě výsledků mohu konstatovat, že testovaná osoba během experimentu nedodržovala nastavené podmínky měření. Tyto data jsou pro potřeby experimentu nepoužitelná a nebyla zohledněna v celkovém vyhodnocení.

5.2.2 Výsledky měření celé skupiny testovaných osob

Při vyhodnocení celé skupiny testovaných osob jsem jako hlavní ukazatel zvolil Aritmetický průměr \bar{x} , který je vypočítán dle vztahu (3):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3)$$

kde:

n – celkový počet Mediánů

x_i – hodnoty Mediánů jednotlivých osob

Tabulka 12: Výsledná reakční doba skupiny testovaných osob

Skupina testovaných osob		Reakce na klasickou žárovku	Reakce na LED žárovku	Rozdíl
Zhasnutá zadní obrysová světla	[s]	0,593	0,561	0,032
Rozsvícená zadní obrysová světla	[s]	0,609	0,570	0,039

Z uvedené Tabulky č. 12 je patrné, že u testované skupiny osob došlo v obou případech ke zkrácení reakční doby na vyvolaný reakční podnět. Konkrétně se jedná o 0,032 sekundy v případě zhasnutých zadních obrysových světel a 0,039 sekundy v případě rozsvícených zadních obrysových světel. Reakce na již rozsvícenou aktivní plochu, která pouze zvýší intenzitu světla během brzdění je tedy o 0,007 sekundy delší.

5.3 Vyhodnocení naměřených dat

Experimentem bylo prokázáno, že používání nehomologovaných LED žárovek za určitých okolností výrazně sníží schopnost řidiče rozpoznat signál vydávaný brzdovými světly. Používání nehomologovaných žárovek ve vozidle na veřejných komunikacích je zakázáno.

Měření se zúčastnila skupina pěti osob ve věku od 27 do 44 let s průměrným ročním nájezdem 10 000 až 21 000 km. Maximální zkrácení reakční doby u jednotlivé osoby bylo 0,070 sekundy, což odpovídá 42,17 % očekávaného zkrácení reakční doby řidiče. Průměrné zkrácení reakční doby celé skupiny bylo 0,036 sekundy, což odpovídá 21,69 % očekávaného zkrácení reakční doby řidiče. Na základě vyhodnocených dat lze předpokládat, že lidské oko reaguje na klasickou žárovku již v průběhu jejího rozsvícení, a nikoliv až na samém konci jejího rozsvícení. Výsledky experimentu neprokázaly, že v případě nahrazení klasické žárovky LED žárovkou dojde ke zkrácení reakční doby o očekávaných 0,166 sekundy.

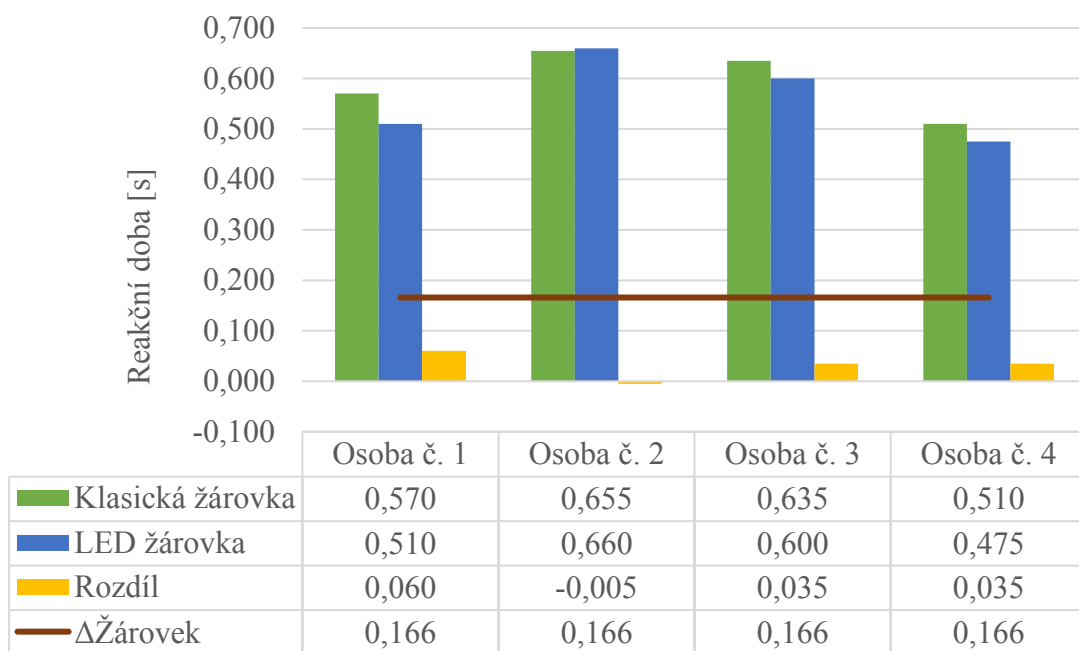
Je však zřejmé, že i toto zkrácení reakční doby je přínosem v bezpečnosti silničního provozu, protože vytváří potenciální úsporu brzdné dráhy. Výsledky experimentu ukázaly, že řidič jedoucí za vozidlem, které má instalované LED žárovky, začne při rychlosti 130 km⁻¹ brzdit v průměru o 1,30 metru dříve než řidič vozidla jedoucího za vozidlem s klasickou žárovkou. V případě naměřeného maxima u jednotlivé osoby je úspora brzdné dráhy až 2,53 metru. Lze

tedy konstatovat, že používání LED žárovek v automobilovém osvětlení je z hlediska bezpečnosti silničního provozu výhodou. Další výhodou LED žárovek je jejich delší životnost.

Nutno dodat, že experiment byl realizován na malé skupině testovaných osob, u které byl nevyrovnaný poměr mužů a žen. Z naměřených hodnot bylo zjištěno, že reakční doba jedné ženy byla delší než reakční doby zbývajících mužů. Pro objektivní a přesnější závěr by bylo nutné experiment zopakovat s větším počtem testovaných osob a vyrovnaným poměrem mužů a žen.

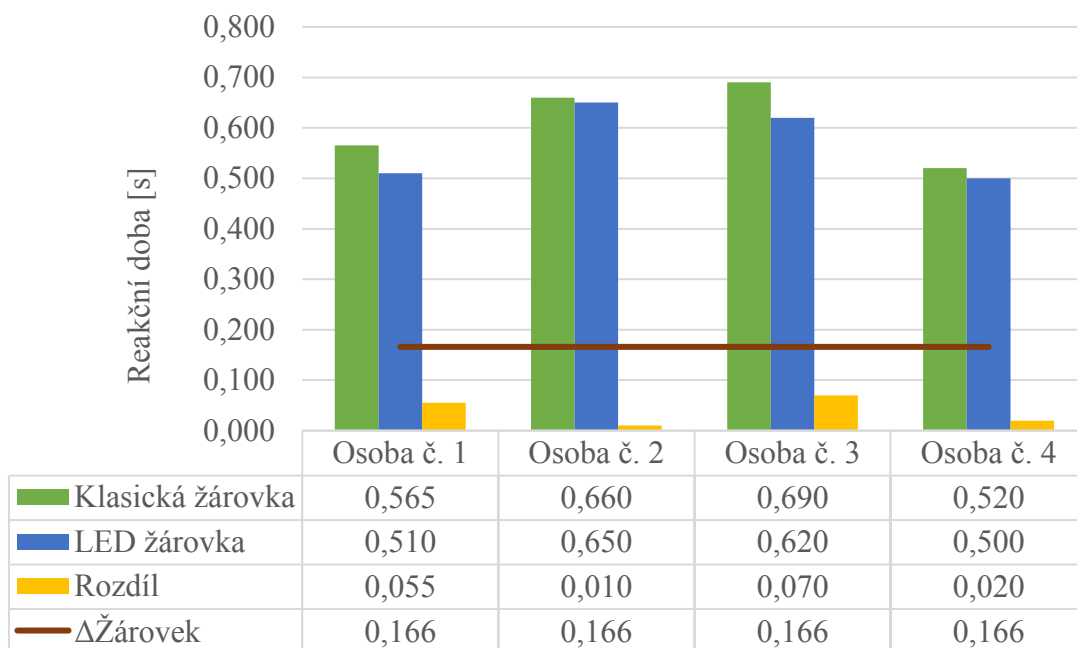
Grafické porovnání reakčních dob jednotlivých testovaných osob

- Měření se zhasnutými zadními obrysovými světly



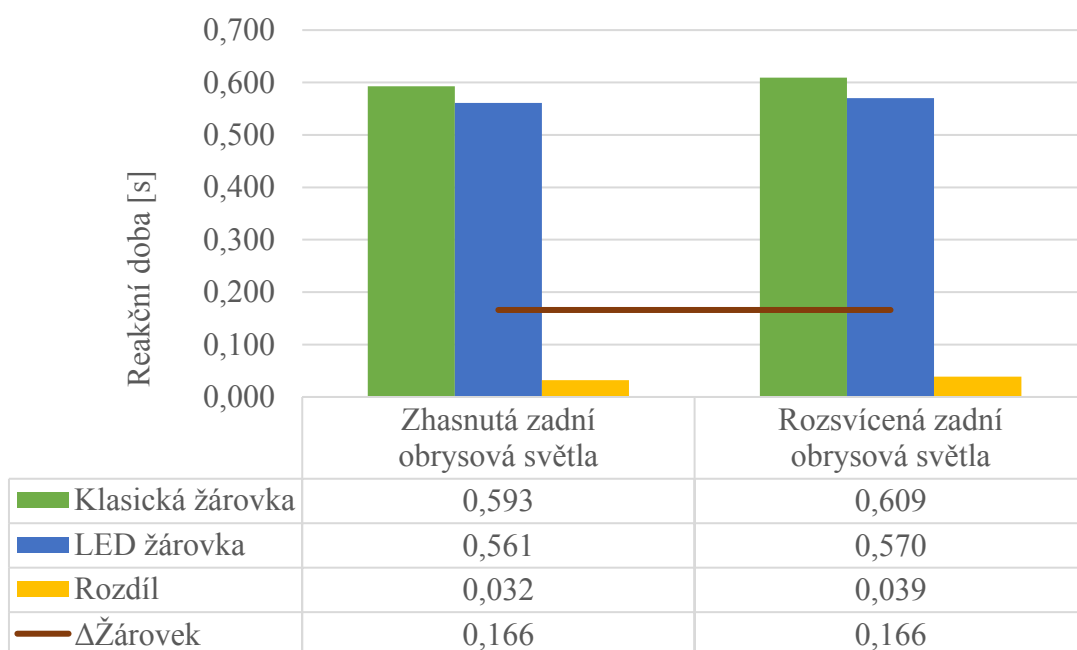
Obrázek 28: Graf reakční doby jednotlivých osob – zhasnutá zadní obrysová světla

- Měření s rozsvícenými zadními obrysovými světly



Obrázek 29: Graf reakční doby jednotlivých osob – rozsvícená zadní obrysová světla

Grafické porovnání reakčních dob celé skupiny testovaných osob



Obrázek 30: Graf reakční doby skupiny testovaných osob

ZÁVĚR

Zadaná práce je rozdělena na dvě části. V první teoretické části je popsána konstrukce a provedení zadní skupinové svítilny včetně používaných světelných zdrojů u brzdových světel. Byly naznačeny i nové technologie a trendy v oblasti brzdových světel. Dále jsou popsány reakční doba řidiče a faktory, které tuto dobu ovlivňují. I v tomto případě jsou zmíněny nové technologie, které jsou jasným signálem, že je nutné se i nadále problematikou brzdových světel a reakční dobou řidiče intenzivně zabývat. Reakční doba řidiče je zásadní parametr určující bezpečnost silničního provozu, proto je nutné hledat a ověřovat nová řešení, která budou zkracovat tuto reakční dobu. Cíl, ke kterému se začíná upínat stále více výrobců automobilů, je úplné autonomní řízení, které by s reakční dobou řidiče nepracovalo. Toto řešení má svá úskalí. Jedním z nich je pomalé nahrazování stávajícího autoparku vozidly, která jsou schopna autonomní jízdy. Druhým a mnohem důležitějším úskalím je vyřešení bezpečnosti systému autonomních vozidel tak, aby jej nebylo možné napadnout a využít je například jako dálkově řízenou zbraň. Tyto problémy oddalují nástup autonomních vozidel o desítky let.

V druhé praktické části jsem experimentálně ověřil vliv změny zdroje světla na reakční dobu řidiče. V průběhu testu bylo zjištěno, že používání nehomologovaných LED žárovek za určitých podmínek snižuje schopnost řidiče rozpoznat, zda vozidlo jedoucí vpředu brzdí či nebrzdí. Používání těchto nehomologovaných žárovek snižuje bezpečnost silničního provozu. Výsledky experimentu sice neprokázaly, že dojde ke zkrácení reakční doby až o 0,2 sekundy, jak je prezentováno výrobcí světelných zdrojů na základě rozdílu rychlosti dosažení maximálního rozsvícení, přesto jejich použití v automobilovém osvětlení má význam, který spočívá v úspoře potenciální brzdné dráhy, čímž dojde ke zvýšení bezpečnosti silničního provozu. Při experimentu bylo dosaženo průměrného zkrácení reakční doby řidiče o 0,036 sekundy a maximálního zkrácení reakční doby řidiče o 0,070 sekundy. Při rychlosti 130 kmh^{-1} je tedy průměrná úspora brzdné dráhy 1,30 metru, přičemž maximální úspora brzdné dráhy je až 2,53 metru. Pro vyšší přesnost a objektivitu výsledků by bylo nutné experiment zopakovat s větším počtem testovaných osob a vyrovnaným poměrem mužů a žen.

Současný trend osvětlení vozidel směřuje k upřednostnění velikosti aktivní plochy krycího skla zadního obrysového světla oproti aktivní ploše brzdového světla. Bylo by vhodné v další práci věnovat pozornost tomuto poměru aktivních ploch a vlivu tohoto poměru na reakční dobu řidiče. Toto řešení by ovšem přesáhlo rozsah této práce.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] JAN, Zdeněk, ŽDÁNSKÝ Bronislav a KUBÁT Jindřich. *Automobily*. Brno: Avid, 2008. ISBN 978-80-87143-07-0.
- [2] ŠTĚRBA, Pavel. *Elektronika a elektrotechnika motorových vozidel: seřizování, diagnostika závad a chybové kódy OBD*. Brno: CPress, 2013. ISBN 978-80-264-0271-8.
- [3] ŠŤASTNÝ, REMEK Jiří a Branko. *Autoelektrika a autoelektronika*. 2. vyd., opr. Praha: Nakladatelství T. Malina, 1995. ISBN 80-900759-9-1.
- [4] HELLA, *Světlo je technologie*, Hella – informační prospekt
- [5] ŠKODA AUTO a.s. *Bezpečnost: Nové asistenční systémy a světelná technika LED*. [online]. Škoda auto a.s. ©2019 [cit. 06.04.2019]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-mapy/uspesny-model-skoda-fabia-s-osvezenym-designem-a-novu-technikou/bezpecnost-nove-asistencni-systemy-a-svetelna-technika-led/>
- [6] EUR-LEX. *Eur-Lex*. [online]. [cit. 06.04.2019]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>
- [7] ŠKODA-DÍLY. *Škoda-díly*. [online]. Škoda-díly.cz ©2019 [cit. 06.04.2019]. Dostupné z: <https://www.skoda-dily.cz/online-obchod.html>
- [8] BOSCH. *New from Bosch: Complete lighting technology. Now includes a rear-lamp range*. Bosch – informační leták
- [9] Ing. ŠPIČKA, Jiří. *Elektroinstalace 8. Automobilové osvětlení III*. [online]. Ing. Špička. [cit. 06.04.2019]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/11384513/>
- [10] SVĚT ŽÁROVEK. *Svět žárovek*. [online]. [cit. 06.04.2019]. Dostupné z: <https://www.svetzarovek.eu/p-42259/k-195/zarovka-lucas-p21-5w-12v-bay15d/>
- [11] XDALYS.LT. *Bulb 12V PR21W*. [online]. Xdalys.lt ©2019 [cit. 06.04.2019]. Dostupné z: <https://www.xdalys.lt/en/2965813>
- [12] Ing. SLAVÍK, Jakub MBA. *Proelektrotechniky.cz*. [online]. Ing. Jakub Slavík, MBA. ©2019 [cit. 06.04.2019]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/15.php>

- [13] Bc. MARTÍNEK, Michal. *Osvětlovací technika moderních vozidel a měření dohlednosti na dosvit hlavních světlometů*. Brno 2011. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.
- [14] iAUTODÍLY.CZ. *Světlo brzdové třetí Škoda Felicia*. [online]. [cit. 06.04.2019]. Dostupné z: <https://www.iautodily.cz/svetlo-brzdove-treti-nd100212304.html>
- [15] ZAVOCAR. [online]. Zavocar.cz ©2008 [cit. 06.04.2019]. Dostupné z: http://shop.zavocar.cz/product_info.php?products_id=42407&osCsid=1f917pk1ccr0uagp8no05bpsq6
- [16] VLK, František. *Automobilová elektronika*. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2006. ISBN 80-239-7062-3.
- [17] AUTO.CZ. *BMW: Dvoustupňová brzdová světla konečně legální*. [online]. Czech News Center a.s. ©2019 [cit. 06.04.2019]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/bmw-dvoustupnova-brzdova-svetla-konecne-legalni-17302>
- [18] AUTOFORUM.CZ. *Fordy chtějí svými brzdovými světly „svítit“ i za zatačku*. [online]. MotorCom s.r.o. ©2019 [cit. 06.04.2019]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/technika/fordy-chteji-svymi-brzdovymi-svetly-svitit-i-za-zatacku/>
- [19] BÖHM PLAST-TECHNIK. *Nové OLED osvětlení Audi Matrix a „rojící se“ zadní světla – Tech and Design Future Lab*. [online]. BÖHM PLAST-TECHNIK a.s. ©2018 [cit. 06.04.2019]. Dostupné z: <http://www.bohmplast.cz/cs/20/06/08/new-audi-matrix-oled-lighting-the-swarm/>
- [20] OLED-INFO. *OLED-info*. [online]. Metalgrass LTD. ©2019 [cit. 06.04.2019]. Dostupné z: <https://www.oled-info.com/oled-lighting>
- [21] Bc. BORECKÝ, Petr. *Reakční čas řidičů*. Praha, 2018. Diplomová práce. České vysoké učení technické Praha. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D., Ing. Josef Mík, Ph.D. Strana 19 a strana 28
- [22] VLK, F. *Stavba motorových vozidel*, ISBN 80-238-8757-2, Nakladatelství VLK, Brno 2003.

- [23] Bc. OSMANČÍK, Radek. *Analýza změny reakční doby vlivem působení vnějších a vnitřních vlivů organismu*. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita, 2017. Vedoucí práce Ing. Lukáš Peter.
- [24] RÁBEK, Vlastimil. *Vnímání a rozhodování účastníků silničního provozu – noční doba: (sborník tuzemských a převzatých cizojazyčných publikací) = Menschliche Wahrnehmung und Entscheidungsprozesse in Straßenverkehr – Nachtzeit: (Sammelbuch inländischer und übernommener fremdsprachigen Veröffentlichungen)*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2014. ISBN 978-80-7395-816-9. Strana 141
- [25] Prof. PhDr. STRAUS, Jiří. *Prodloužení reakční doby v závislosti na hladinu alkoholu*. Katedra kriminalistiky Policejní akademie v Praze.
- [26] Doc. Ing. PLCH, Jiří, CSc. *Reakční doba řidiče*. Společnost pro rozvoj veřejného osvětlení. Podzimní setkání. Jablonec nad Nisou. 4-5. listopadu 2010
- [27] doc. Ing. KLEPRLÍK Jaroslav, Ph.D. *Opatření pro zajištění účinného a správného brzdění silničních vozidel*. Článek. Univerzita Pardubice. Číslo 1, ročník XI, duben 2016.
- [28] KLEPRLÍK, Jaroslav, Jan KYNCL a Radovan SOUŠEK. *Technologie a řízení silniční dopravy*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 80-7194-520-X.
- [29] Ing. MIKULÍK Josef, CSc. *Stanovení minimálních vzdáleností mezi vozidly v podélném směru a způsob sledování jejich dodržování*. Publikováno 14.4.2015
- [30] BRADÁČ, Albert. *Soudní inženýrství*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1997. ISBN 80-7204-057-X.
- [31] CENTRUM DOPRAVNÍHO VÝZKUMU. *Vliv reklamních zařízení na bezpečnost dopravy*. Studie. Brno. 2016. Objednatel: Ministerstvo dopravy. Strana 40
- [32] AUTOLEXICON.NET. *Reakční doba řidiče*. [online]. Autolexicon.net ©2019 [cit. 06.04.2019]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/reakcni-doba-ridice/>
- [33] SUZUKI. *Pokročilý systém sledování provozu před vozem*. [online]. Auto Motors a.s. [cit. 06.04.2019]. Dostupné z: <http://www.automotors.cz/novy-suzuki-swift/bezpenost>

- [34] AUTOREVUE.CZ. *Systémy nočního vidění? Zatím exkluzivita*. [online]. Czech News Center ©2019 [cit. 06.04.2019]. Dostupné z: https://www.autorevue.cz/systemy-nocniho-videni-zatim-exkluzivita_1
- [35] NISSAN MOTOR CORPORATION. *Future technology. Brain-to-vehicle*. [online]. Nissan [cit. 06.04.2019]. Dostupné z: <https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/b2v.html>
- [36] ZIKMUND, Tomáš, *Dynamika podvozkových částí silničních vozidel*, Dizertační práce. Univerzita Pardubice. Pardubice 2006.
- [37] JILEK, Petr, *Vývoj systému pro ověřování jízdní stability silničního vozidla ve vztahu k adhezním podmínkám*, Dizertační práce. Univerzita Pardubice. Pardubice 2006. Školitel doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc. Školitel specialista Ing. Marie Sejkorová, Ph.D. Strana 76.
- [38] Ing. KAPLÁNEK, Aleš. *Analýza reakcí řidičů na složené podněty*. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, 2010. Vedoucí práce prof. Ing. Zdeněk Kolíbal, CSc.
- [39] Ing. KUBÁNEK, Ondřej. *Analýza vlivu používání technických zařízení řidičem na reakční dobu*. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Brno 2016. Vedoucí práce Ing. Vladimír Panáček, Ph.D.
- [40] MOORE W. David, RUMAR K, 1999, Technical raport, *Historical Development and Current Effectiveness of Rear Lighting Systems*. Michigan.
- [41] ČERNÝ, Josef. *Světla a osvětlení silničních vozidel*. Praha: Nadatur, 1995. Knižnice základních právních norem ES vztahujících se k dopravě, sv. 29. ISBN 80-85884-18-6.
- [42] VLK, František. *Elektrická zařízení motorových vozidel: [palubní síť, baterie, alternátory, startéry, zapalování, osvětlení]*. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2005. ISBN 80-239-3718-9.
- [43] *Encyklopedie automobilů: značky, modely, technické údaje*. Praha: Gemini, 1994. ISBN 80-85820-04-8.

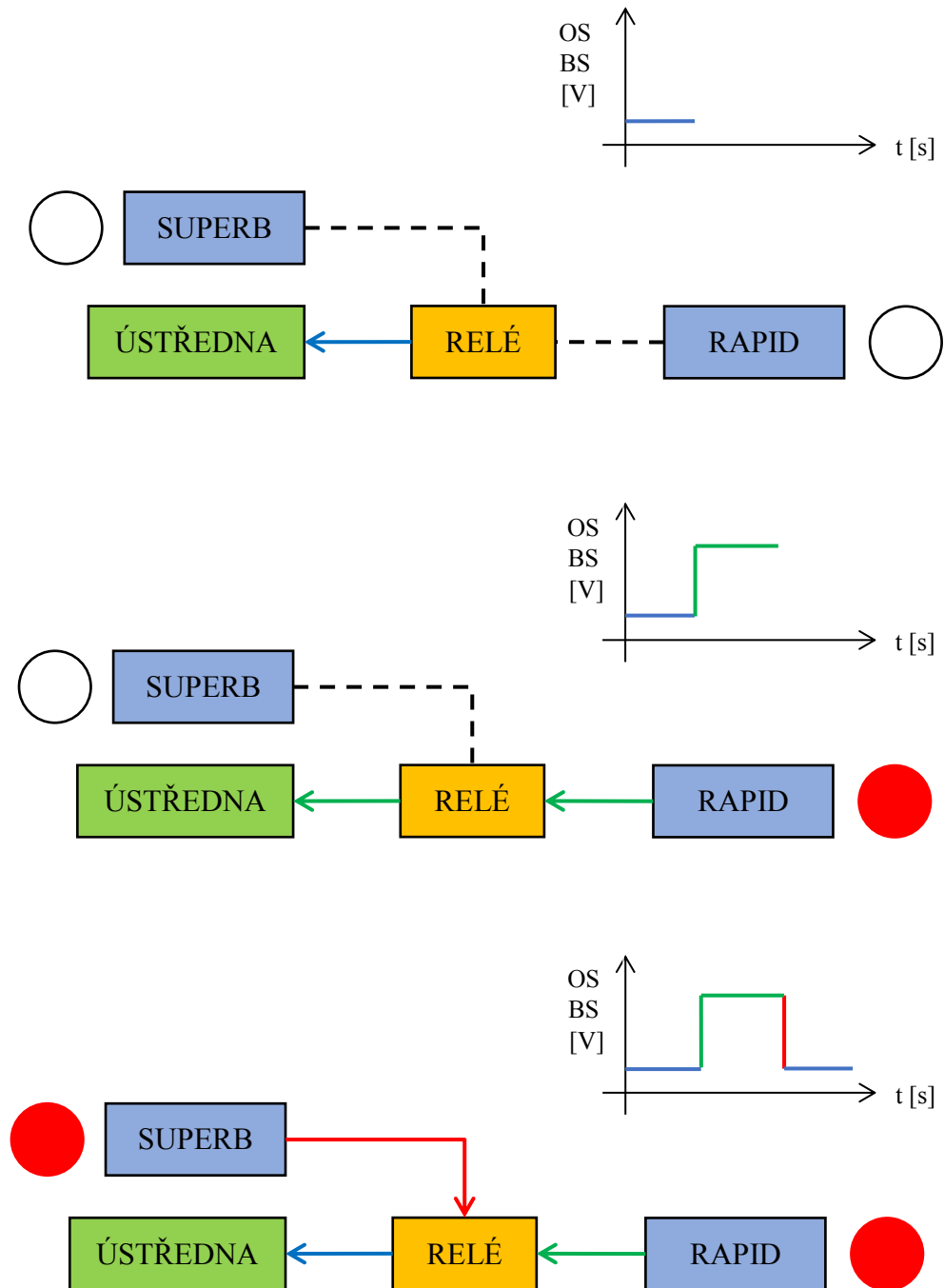
PŘÍLOHY

Příloha A – Obecný průběh měřených signálů69

Příloha B – Identifikační karty osoby č. 170

PŘÍLOHA A – OBECNÝ PRŮBĚH MĚŘENÝCH SIGNÁLŮ

Na uvedeném obrázku jsou symboly naznačena brzdová světla v aktivním a neaktivním stavu, pohyby jednotlivých signálů měřicím zařízením a grafické znázornění průběhu optického a brzdového signálu.



PŘÍLOHA B – IDENTIFIKAČNÍ KARTY OSOBY Č. 1

- Zhasnutá zadní obrysová světla.

IDENTIFIKAČNÍ KARTA MĚŘENÍ					
<i>Osobní č.:</i>	1	<i>Pohlaví:</i>	Muž	<i>Datum:</i>	7.5.2019
<i>ŘP:</i>	Ano	<i>Věk:</i>	44	<i>Čas:</i>	15:11
<i>Ročně km:</i>	20 000	<i>Ovlivnění:</i>	Žádné	<i>Místo:</i>	Pardubice
<i>Podmínky:</i>	Zadní obrysová světla zhasnutá , třetí brzdové odpojené, laboratoř				
Klasická žárovka [s]			LED žárovka [s]		
<i>BS</i>	<i>OS</i>	<i>RDŘ</i>	<i>BS</i>	<i>OS</i>	<i>RDŘ</i>
6,609	5,909	0,700	5,799	5,289	0,510
9,759	9,209	0,550	12,049	11,549	0,500
14,399	13,809	0,590	20,019	19,489	0,530
19,579	18,979	0,600	22,849	22,349	0,500
22,949	22,329	0,620	25,599	25,039	0,560
27,809	27,279	0,530	31,529	31,059	0,470
31,339	30,769	0,570	37,439	36,949	0,490
34,779	34,249	0,530	40,759	40,289	0,470
38,899	38,349	0,550	43,469	42,959	0,510
43,739	43,189	0,550	48,799	48,319	0,480
47,479	46,899	0,580	54,629	54,119	0,510
51,839	51,269	0,570	60,039	59,579	0,460
55,669	55,099	0,570	65,299	64,799	0,500
58,959	58,369	0,590	70,009	69,509	0,500
64,549	63,979	0,570	75,689	75,159	0,530
68,899	68,349	0,550	77,979	77,399	0,580
73,859	73,319	0,540	80,009	79,479	0,530
77,249	76,639	0,610	85,189	84,529	0,660
81,559	81,009	0,550	91,349	90,779	0,570
85,089	84,509	0,580	96,599	96,029	0,570
			101,189	100,629	0,560
Medián [s]:		0,570	Medián [s]:		0,510
Výsledný rozdíl reakční doby řidiče [s]:					0,060

Poznámky:

Legenda: ŘP – řidičský průkaz, OS – Optický signál, BS – Brzdový signál
 RDŘ – reakční doba řidiče

- Rozsvícená zadní obrysová světla.

IDENTIFIKAČNÍ KARTA MĚŘENÍ					
Osobní č.:	1	Pohlaví:	Muž	Datum:	7.5.2019
ŘP:	Ano	Věk:	44	Čas:	15:45
Ročně km:	20 000	Ovlivnění:	Žádné	Místo:	Pardubice
Podmínky:	Zadní obrysová světla rozsvícená , třetí brzdové odpojené, laboratoř				
Klasická žárovka [s]			LED žárovka [s]		
<i>BS</i>	<i>OS</i>	<i>RDŘ</i>	<i>BS</i>	<i>OS</i>	<i>RDŘ</i>
7,239	6,259	0,980	7,119	6,619	0,500
10,109	9,479	0,630	12,079	11,579	0,500
13,509	12,939	0,570	16,049	15,209	0,840
17,759	17,169	0,590	20,829	20,289	0,540
22,139	21,529	0,610	26,969	26,379	0,590
25,399	24,869	0,530	31,609	31,149	0,460
29,949	29,349	0,600	37,389	36,909	0,480
33,269	32,749	0,520	41,159	40,679	0,480
37,489	36,929	0,560	44,749	44,289	0,460
40,499	39,999	0,500	51,559	51,049	0,510
45,809	45,229	0,580	56,299	55,739	0,560
49,409	48,849	0,560	61,779	61,189	0,590
52,759	52,219	0,540	65,379	64,869	0,510
57,739	57,099	0,640	70,319	69,809	0,510
61,979	61,429	0,550	75,109	74,599	0,510
65,669	65,129	0,540	80,899	80,339	0,560
68,849	68,289	0,560	84,789	84,059	0,730
72,859	72,169	0,690	89,279	88,749	0,530
79,059	78,419	0,640	94,329	93,839	0,490
82,629	82,099	0,530	98,399	97,909	0,490
Medián [s]:		0,565	Medián [s]:		0,510
Výsledný rozdíl reakční doby řidiče [s]:					0,055

Poznámky:

- 1) Záznam u klasické žárovky odstraněn z vyhodnocení, opožděná reakce na podnět.

Legenda: ŘP – řidičský průkaz, OS – Optický signál, BS – Brzdový signál
 RDŘ – reakční doba řidiče