



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Robin Medgyesy

**VLIV VNĚJŠÍ SVĚTELNÉ SIGNALIZACE VOZIDEL
NA REAKCI ŘIDIČE**

Diplomová práce

2020

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K616.....Ústav dopravních prostředků

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Robin Medgyesy

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – DS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Vliv vnější světelné signalizace vozidel na reakci řidiče**

Název tématu (anglicky): Influence of vehicle external light signaling on driver reaction

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Prostudujte vývoj a legislativu používání vnější světelné signalizace vozidel
- Popište technologie světelné signalizace využívané u současných vozidel a nové technologie světlometů vozidel
- Prostudujte nové a plánované způsoby světelné signalizace vozidel
- Navrhněte a zrealizujte experiment na vozidlovém simulátoru ověřující vliv reakce řidičů na nové způsoby světelné signalizace vozidel
- Na základě vyhodnocení experimentu porovnejte jednotlivé způsoby světelné signalizace s ohledem na ovlivnění řidiče a stanovte závěry



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: VLK, František. OSVĚTLENÍ MOTOROVÝCH VOZIDEL [online]. 2006 [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2006-05-292-300.pdf>
EHK OSN č. 48 – Jednotná ustanovení pro schvalování typu vozidel z hlediska montáže zařízení pro osvětlení a světelnou signalizaci. 2016.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Adam Orlický

doc. Ing. Stanislav Novotný, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce:

10. června 2019

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce:

1. prosince 2020

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.

vedoucí
Ústavu dopravních prostředků



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.

děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Robin Medgyesy
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....11. srpna 2020

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

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

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

V Praze dne 6. 8. 2020

Bc. Robin Medgyesy

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Adamovi Orlickému, za odborné vedení a za hodnotné rady a připomínky při psaní této diplomové práce. Také bych chtěl poděkovat všem zúčastněným za pomoc s testováním, které bylo součástí této diplomové práce.

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je prozkoumat aktuální technologie osvětlení vozidel a zjistit, kde mohou pomoci z hlediska zvýšení bezpečnosti na pozemních komunikacích. Následně navrhnout experiment, při kterém bude implementováno několik inovativních řešení světelných prvků. Tato řešení budou zaměřena na snížení reakční doby při dojezdu vozidel do tvořící se kolony. Výstupem bude ověření vlivu těchto vizualizačních prvků na snížení reakční doby s ohledem na zvýšení bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích.

Klíčová slova: osvětlení, LED, bezpečnost, technologie, vozidlo, reakční doba

Abstract

The aim of this thesis is to explore current vehicle lighting technologies and to find out where they can help in terms of improving road safety. Then design an experiment in which several innovative light element solutions will be implemented. These solutions will aim to reduce the reaction time when vehicles reach the forming traffic jam. The output will be to verify the influence of these visualization elements on the reduction of reaction time with a view to improving road safety.

Key words: lighting, LED, safety, technology, vehicle, reaction time

Obsah

Seznam použitých zkratk	7
1 Úvod	8
2 Technologie světlometů	11
2.1 Historie	12
2.2 Světelné zdroje	13
2.2.1 Halogen	13
2.2.2 Xenon	14
2.2.3 LED	15
2.2.4 Laser	16
3 Adaptivní systémy osvětlení	18
3.1 Současný stav	20
3.1.1 Lexus – BladeScan	21
3.1.2 Audi - Digital Matrix LED	22
3.1.3 Mercedes-Benz – Digital light	25
3.2 Osvětlení interiéru	28
3.3 Osvětlení zadní části vozu	29
4 Bezpečnost	32
4.1 Testy	32
4.2 Nehodovost v dopravě	34
4.3 Reakční doba	35
4.4 Současné trendy snižování reakční doby	36
PRAKTICKÁ ČÁST	38
5 Možnosti testování	38
5.1 Reálné prostředí	38
5.1 Virtuální prostředí	39
6 Experiment	40

6.1	Popis scénáře.....	40
6.2	Algoritmus aktivace brzdění.....	41
6.3	Vizuální bezpečnostní rozhraní.....	41
6.3.1	Rozhraní 1.....	42
6.3.2	Rozhraní 2.....	42
6.3.3	Rozhraní 3.....	43
6.3.4	Rozhraní 4.....	43
6.4	Měřené veličiny	44
6.5	Omezení z důvodu epidemie Covid 19.....	45
6.6	Průběh experimentu	46
6.7	Výsledky	47
6.7.1	Výsledky reakčních dob.....	47
6.7.2	Výsledky dotazníkového šetření.....	49
6.7.3	Připomínky ke komunikačním rozhraní	51
7	Závěr	53
	Použitá literatura.....	56
	Seznam obrázků.....	59

Seznam použitých zkratek

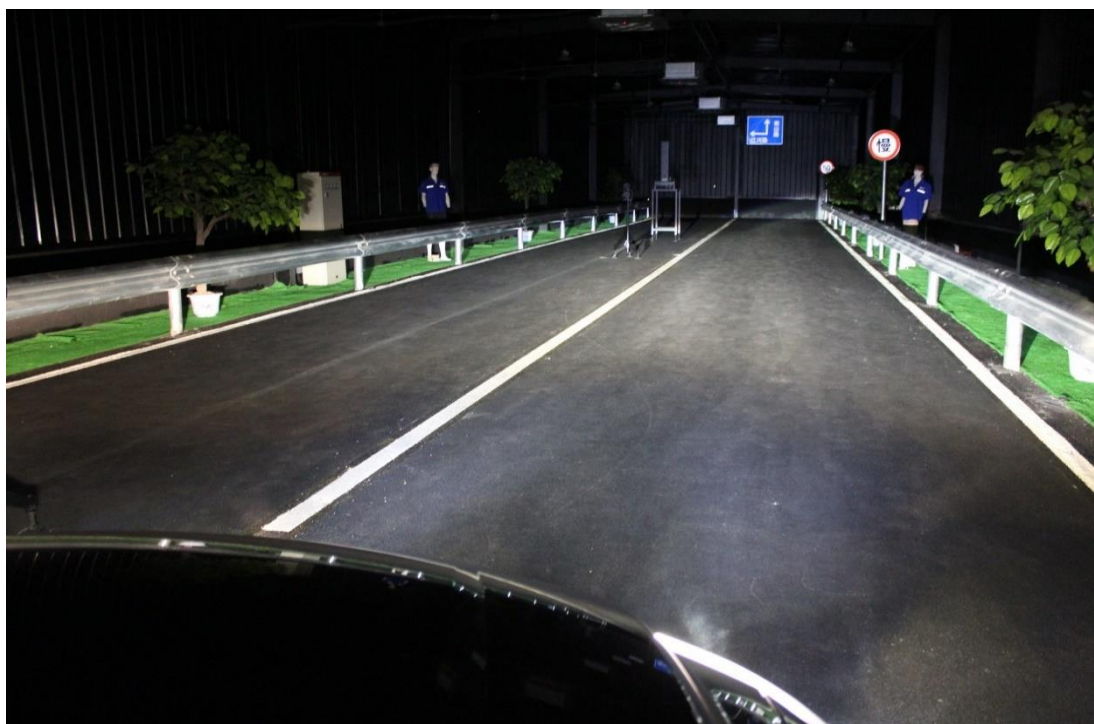
LED	Light-Emitting Diode
PK	Pozemní komunikace
SUV	Sport Utility Vehicle
DMD	Digital Micromirror Device
IIHS	Insurance Institute for Highway Safety

1 Úvod

Dobře vidět, ale být také dobře viděn, je jedním ze základních pilířů bezpečnosti na pozemních komunikacích. Díky neustálému vývoji a nástupu nových technologií v oblasti auto motive, se osvětlení vozidel stalo jedním z nejdynamičtěji se rozvíjejícím oborem za poslední dekádu. K velkému pokroku došlo u všech prvků osvětlení, jak v interiéru, tak také v exteriéru. A to nejenom z hlediska designu, ale i technologických řešení. Tyto moderní technologie mohou výrazně přispět ke zvýšení bezpečnosti na pozemních komunikacích. Tím se postupně dostáváme k tématu této diplomové práce – vlivu osvětlení vozidel na možné zvýšení bezpečnosti v dopravě.

V případě moderního pojetí světlometů je pro výrobce velkým lákadlem použití co možná nejvýkonnějších světelných zdrojů, které zajišťují podmínky pro dobrou viditelnost za všech povětrnostních podmínek. Takové světlomety potom mohou doslova proměnit noc na den a uspokojit potřeby i nejnáročnějšího řidiče. Na druhou stranu takto svítící světlomety neocení řidič protijedoucího vozidla, kterého mohou oslnit.

A tak je nutné testovat parametry světlometů v oblasti intenzity a směru světelných paprsků. Toto měření se provádí například ve světelném tunelu společnosti Varroc Lighting Systems (Obrázek 1). V průběhu vývoje také nastaly propastné rozdíly, jak v případě standardních, tak příplatkových světel u stejných modelů vozidel napříč všemi automobilkami. Byla tedy nutná regulace a nastavení jednotlivých parametrů tak, aby vývoj světlometů mohl pokračovat správným směrem nejenom z hlediska světleného výkonu, ale také bezpečnosti. [1] [2]



Obrázek 1: Testovací laboratoř Varroc Lighting Systems

V oblasti technického umístění a parametrů světlometů je dán v platnost předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK OSN) č. 48 – Jednotná ustanovení pro schvalování typu vozidel z hlediska montáže zařízení pro osvětlení a světelnou signalizaci. V tomto předpisu se nachází kompletní legislativní informace ohledně veškerého osvětlení vozidel kategorie M (vozidla používaná pro přepravu osob) a N (vozidla používaná pro přepravu nákladů) i jejich přípojných vozidel značených O. Nejedná se tedy pouze o hlavní světlometry, ale jde o problematiku komplexního osvětlení vozidel.

Nyní s revolučními technologiemi a příchodem inteligentních světlometů nastává otázka, zda tyto technologie mohou přispět ke zvýšení bezpečnosti na PK i jinak, než z pohledu hlavních světlometů, které osvětlují pouze úsek vozovky před vozidlem. Uplatnění si tak mohou nové technologie najít například v označování nebezpečných překážek před vozem nebo v promítání navigačních či jiných pokynů na vozovku (Obrázek 2). [3]



Obrázek 2: Mercedes-Benz Digital Light

Popřípadě mohou technologie pomoci v situaci označování trajektorie parkování, kdy vozidlo vizuálně upozorní ostatní účastníky provozu, kterým směrem se bude pohybovat. Tím může být eliminováno značné množství nebezpečných incidentů. V neposlední řadě může osvětlení v budoucnu výrazně pomoci z hlediska bezpečnosti při nárazech do zadní části stojícího či brzdícího vozu.

Situace, kdy se vozidla blíží ke stojící koloně, jsou velice nebezpečné a často bohužel končí tragicky. I přes zvyšování počtu informačních tabulí, které upozorňují na riziko častého tvoření

kolon a zavádění nouzových brzdových asistentů, je nutné se nadále podílet na zvyšování bezpečnosti na pozemních komunikacích. Jedním z možných řešení je inovace v oblasti osvětlení a signalizace zadních částí vozidel (Obrázek 3). [4]



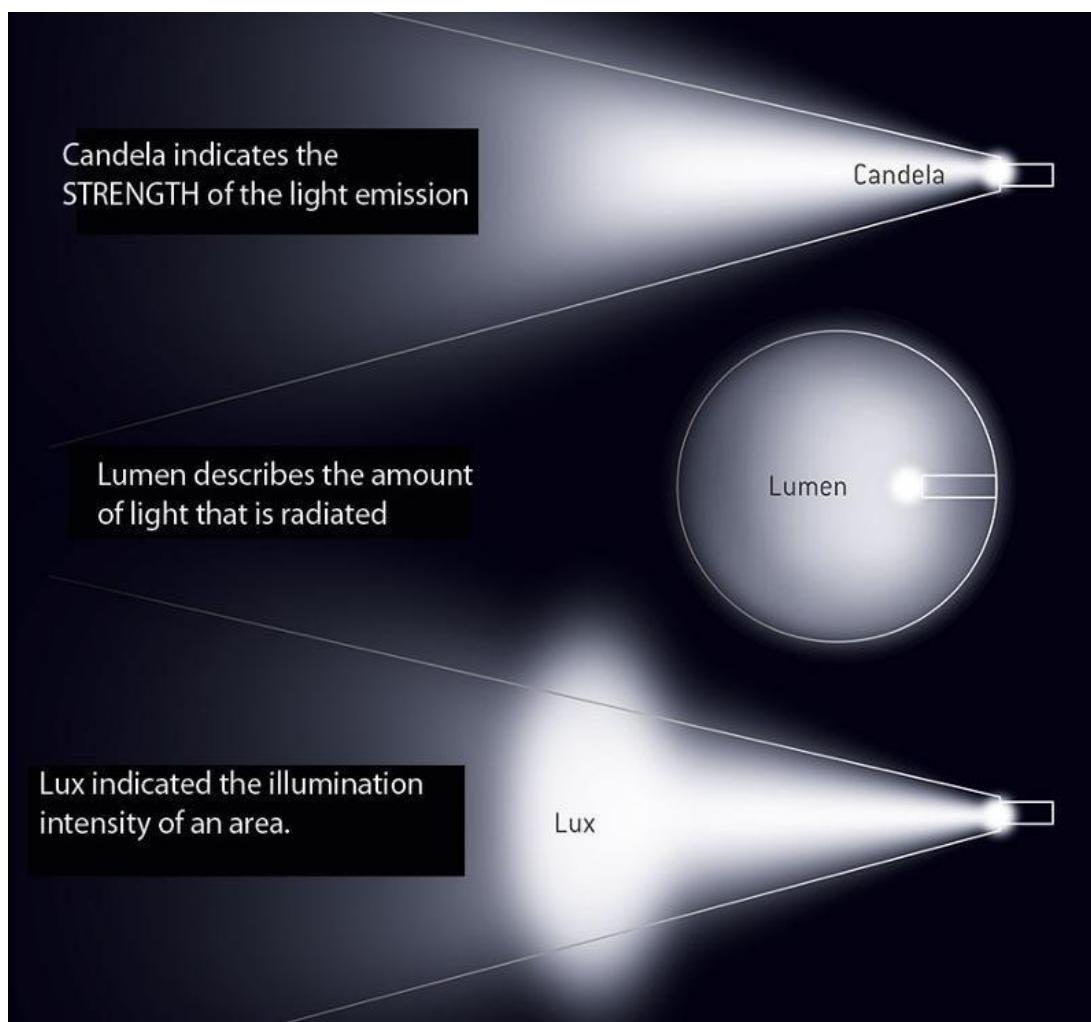
Obrázek 3: Inovativní zadní světla

Cílem této diplomové práce je v první části prozkoumat aktuální technické možnosti a trendy osvětlení vozidel. Ve druhé části potom navrhnout experiment, který bude analyzovat chování a reakce řidičů na jednotlivé druhy osvětlení při rychlém najetí do tvořící se kolony a následně tento experiment vyhodnotit. Přínosem této práce by mělo být ověření možného zvýšení bezpečnosti na pozemních komunikacích pomocí inovativního osvětlení zadní části vozidla.

2 Technologie světlometů

Před samotným úvodem do základních principů světlometů je vhodné si definovat měrné základní jednotky světla, ve kterých jsou udávány a srovnávány parametry světelného výkonu.

Světelné parametry jsou nejčastěji definovány jednotkami lux, lumen a kandela. Lux je odvozenou jednotkou osvětlení a velikost jednoho luxu odpovídá světelnému toku jeden lumen dopadajícího na plochu jednoho metru čtverečního. Lumen je potom definován jako světelný tok vyzařovaný do prostorového úhlu jednoho steradiánu bodovým zdrojem, jehož svítivost je ve všech směrech jedna kandela. Kandela udává svítivost světelného zdroje, který v daném směru emituje monochromatické záření o frekvenci 540×10^{12} Hz a jehož zářivá intenzita v tomto směru činí $1 / 683$ W na jeden steradián. Steradián označuje prostorový úhel, který vymezí ze středu na jednotkové kouli jednotkovou plochu, respektive na kouli o poloměru r plochu r^2 . Grafická reprezentace jednotek světla je pro lepší představu znázorněna na Obrázku 4. [5]

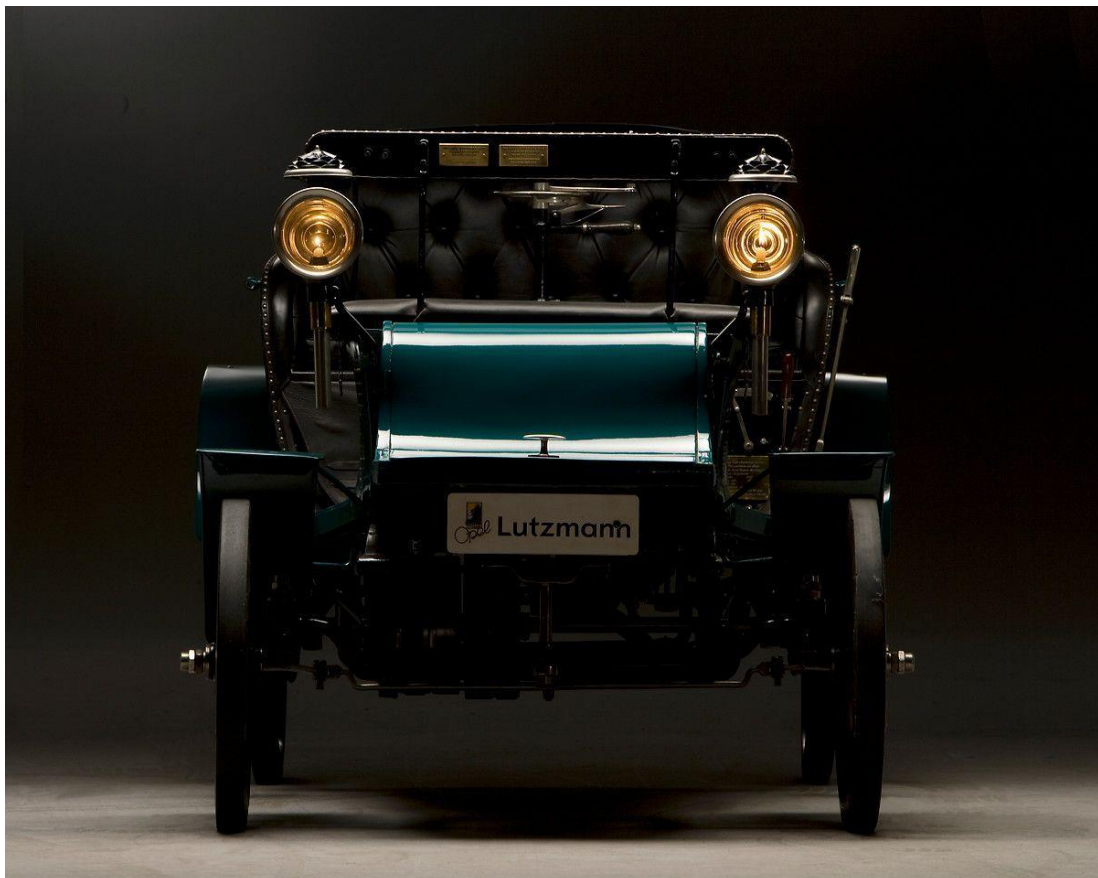


Obrázek 4: Vizualizace jednotek

2.1 Historie

Světlomety nebyly vždy natolik výkonné jako nyní a tomuto pokroku předcházeli velice pozvolný vývoj. Je známo, že první světlomety na vozidlech nesloužily k tomu, aby vozidla osvětlovala silnici. Naopak sloužily k tomu, aby vozidla byla lépe vidět ostatními účastníky silničního provozu. Běžně byly používány lampy převzaté z kočárů, ve kterých byla zapálená svíčka.

V roce 1899 byl vyroben vůz Opel Patent Motor Wagen (Obrázek 5), který přinesl inovaci v osvětlení nazvanou System Lutzmann. Inovací bylo použití zrcátka, které světlo svíčky odráželo dopředu na silnici. Kromě toho byla svíčka umístěna na pružince, která svíčku postupně při spotřebě vosku vytlačovala vzhůru a její hořící knot byl tak stále v přibližně stejné výšce. Kromě svíček se používaly i acetylenové nebo olejové lampy. Žárovky byly sice známé již od konce devatenáctého století, nicméně jejich vlákna nebyla dostatečně spolehlivá pro dlouhodobé svícení. Problémem byla také výroba dynama, které by bylo dostatečně malé pro použití ve vozidle a dodávalo konstantně stabilní elektrický proud.



Obrázek 5: Opel Patent Motor Wagen

Průkopníkem světel napájených elektřinou byl americký Cadillac, který v roce 1912 nasadil zapalovací systém Delco, který dokázal napájet i osvětlení. O pět let později byly americké luxusní vozy dodávány také s prvkem výbavy, u kterého bylo možné světla přepnout z kabiny.

Na konci třicátých let se začala ve světě postupně objevovat vozidla, která neměla kulaté, nýbrž hranaté světlometry. Něco podobného bylo ovšem nemyslitelné v USA, kde zákon mezi lety 1940 až 1974 zakazoval použití jiných než kulatých světlometů s integrovanými vlákny. Jednalo se tedy o světla bez vyměnitelné žárovky. Až po tomto roku byly dovoleny světlometry hranaté. Ovšem vyměnitelné halogenové žárovky se do vozů začaly legálně dle zákona v USA osazovat až po roce 1983. Což je vzhledem v porovnání s Evropou o celých jedenadvacet let později. V Evropě byla totiž nejstarší standardizovaná výměnná automobilová žárovka H1 použita ve voze již v roce 1962. [6]

2.2 Světelné zdroje

Čímž se dostáváme k prvnímu rozdělení světlometů z hlediska zdroje vyzařovaného světla. Rozžhavené vlákno uvnitř skleněné baňky bylo po dlouhá léta jediným zdrojem světla. Ovšem později byl tento jev zdokonalen díky experimentům s použitím různých plynů v prostředí vlákna.

2.2.1 Halogen

Momentálně je stále nejlevnějším a díky tomu také nejrozšířenějším zdrojem světla již zmíněná halogenová žárovka (Obrázek 6). Pracuje na principu baňky z křemičitého skla naplněné halogenem, bromem nebo jodem, kde světlo vzniká rozžhavením vlákna mezi elektrodami.



Obrázek 6: Halogenová žárovka H1

Velkou nevýhodou žárovek je velký proudový odběr. Energie vložená do žárovek se nepromění účinně a vzniká tak velké množství odpadního tepla. Příkon vyobrazené H1

žárovky je 55 W. Halogenová žárovka H4 v dálkovém režimu má příkon dokonce 60 W. Na trhu jsou ovšem i halogenové žárovky s větším příkonem. U některých výrobců se lze setkat s halogenovými žárovkami, které mají příkon až 100 W. Světelný výkon je tak u tohoto typu osvětlení díky zmíněné neefektivitě již dávno překonán. Mezi výhody halogenových žárovek patří nízké náklady na výrobu a také jednoduchá výměna nefunkční žárovky za novou, která se provádí standardně výměnou nefunkčního kusu za nový. U výměny nehrozí zranění vysokým proudem, jako u následujících xenonových výbojek. [7]

2.2.2 Xenon

Proti halogenovým žárovkám jsou xenonové výbojky přibližně dvakrát účinnější. Oproti rozžhavenému vláknu halogenové žárovky jsou výbojky plněny xenonem. Světlo je vyzařováno obloukem mezi elektrodami. Jejich výhodou je širší rozptyl světla na větší vzdálenost světelného kužele, který tak osvětluje větší plochu před vozem. Tradiční výhodou xenonů je nízký odběr proudu. Příkon xenonové výbojky D2S (Obrázek 7) je 35 W.



Obrázek 7: Xenonová výbojka D2S

Samostatná xenonová výbojka by ve světlometu oslňovala protijedoucí účastníky provozu, a proto je nutné ji instalovat do speciálních xenonových projektorů. S čímž přichází také jistá negativa. Výdrž těchto projektorů, respektive odrazových parabol v nich je omezena. Jejich kvalita a životnost se odvíjí od zpracování jednotlivých výrobců. Různé metody vakuového

pokovení a šetření nákladů na výrobu, díky kterému se kovové paraboly nahrazují plastovými, si v průběhu životnosti projektoru vybírají svoji daň. S tím souvisí dražší servis oproti halogenovým žárovkám, které se pohybují na trhu v cenové relaci desítek až stokorun. Oproti tomu jsou náhradní výbojky přibližně 10 x dražší. Ovšem na druhou stranu je životnost xenonových výbojek oproti halogenovým žárovkám několikanásobně vyšší. [7]

Při posuzování životnosti světelných zdrojů, které jsou konstruovány pro určitou dobu provozu, se zjišťuje, zda mají všechny stejnou nebo podobnou charakteristiku výpadků. Životnost světelných zdrojů je reprezentována hodnotami B_3 a T_C . Hodnota B_3 udává čas, po jehož uplynutí přestanou fungovat 3 % testovaných světelných zdrojů. Další hodnota T_C udává čas, po jehož uplynutí přestane fungovat 63,2 % světelných zdrojů. Dříve byl uváděn pouze průměr tzv. průměrná životnost, která byla značena hodnotou B_{50} , což značilo výpadek 50 % světelných zdrojů. Uváděním hodnot B_3 i T_C lze lépe vyjádřit kolísání doby životnosti a také kvalitu produktů. V praxi je hodnota životnosti B_3 u standardní xenonové výbojky D2S 1800 hodin oproti 150 hodinám u halogenové žárovky H1. Hodnota T_C je potom u xenonové výbojky D2S 2800 hodin a u halogenové žárovky H1 250 hodin. [8] [9] [10]

Cenu kompletního xenonového systému také zvyšují povinné prvky, jako automatická výšková nivelace a ostřikovače světlometů, které zabraňují oslnění protijedoucích účastníků provozu. Tuto skutečnost si uvědomují i samy automobilky. Proto vznikly i tzv. slabé xenonové varianty světlometů, které nepřekračují technickými normami danou mez světelného toku 2000 lumenů. Legislativně daná hodnota tlumeného zdroje světla vyzařujícího 2000 lm je totiž mezní. Světlomety, které v tlumeném režimu vyzařují méně než 2000 lm, totiž nemusí mít instalovanou výškovou nivelaci ani ostřikovače světlometů, čímž dochází u výrobců ke značnému snížení nákladů. Utlumené verze xenonů potom svítí přibližně o 20 % méně, než standardní xenonové světlomety. [7]

2.2.3 LED

Nejúčinnější, na druhou stranu nejdražší a výrobně nejnáročnější osvětlení využívá technologii světlo emitujících diod (Light Emitting Diode). LED je přitom jednoduchá polovodičová součástka, která má cca desetkrát větší účinnost než klasická žárovka. Prvním vozidlem, které mělo v konfiguraci výbavy LED světlomety, byl Lexus LS v roce 2006. U LED je konstrukčně nutné, aby byla pevně přilepena k podkladu z důvodu zajištění odvodu tepla. K odvodu tepla je ve většině případů také použito aktivní chlazení pomocí ventilátorů. Bez zajištění dostatečného odvodu tepla se životnost diod dramaticky snižuje. Světelný zdroj se při výrobě osazuje pomocí kamery s přesností na 0,1 milimetru, aby bylo zajištěno geometricky přesné usměrnění světla. LED světlomety pronikají stále více do aut nižších tříd, do kterých se často

instalují takzvané „simple LED“ moduly. U těchto modulů stačí pouze pasivní chlazení bez ventilátorů, a to díky nižšímu výkonu a větší vzdálenosti jednotlivých čipů mezi sebou.

Velkou výhodou LED technologie není pouze vysoký světelný výkon, ale také malé rozměry. Ve světlometech osazených LED technologií již nemusí být velké paraboly či čočky projektoru, nýbrž mohou designéři volit mezi různými tvary. Jsou tak konstruovány mnohem menší světlometry a s tímto trendem přichází i nové designové změny předních částí vozidel. Příkladem nového designu, který vkládá hlavní světlometry do přední masky je nový Hyundai Tuscon (Obrázek 8). V ČR bude tento vůz uveden na trh na konci roku 2020. Nevýhodou technologie LED je cena a také téměř nemožná výměna samostatného světelného zdroje v případě poruchy. [7] [11]



Obrázek 8: Hyundai Tuscon 2020

2.2.4 Laser

Největší světelný výkon produkují laserové světlometry. Laserové světlometry jsou relativní novinkou na trhu. První sériové vozidlo, které tyto světlometry nabídlo v konfiguraci výbavy, bylo BMW i8 v roce 2014. Tyto světlometry fungují v dálkovém režimu jako doplněk standardních LED, ovšem s daleko větším dosahem světelného kužele (Obrázek 9). Délka dosvitu laser světlometů je až 600 m. Pro srovnání, dosvit běžných halogenových světlometů v dálkovém režimu je přibližně 200 m. Laserové světlo má ovšem i své nevýhody. Na rozdíl od diod vyžaduje vyšší napětí a také vícestupňovou regulaci. Světlený paprsek mří na silnici přes soustavu zrcadel, jejíž součástí je kovová destička pokrytá tzv. luminoforem, která modré laserové světlo mění na vhodnou vlnovou délku.

U laserových světlometů je také nutno počítat s velkým úskalím z hlediska bezpečnosti. Tyto světlometry mají například u zmíněného BMW i8 působivou účinnost, kdy měřená hodnota páru laserů dosahuje 2 W. V každém světlometu se nachází šest laserových modulů, jeden má tedy výkon 166 mW. I tato hodnota je ovšem z hlediska zdraví nebezpečná. Už 50 mW znamená u neregulovaného laserového paprsku riziko krátkodobého poškození zraku. Pro srovnání, běžné laserové ukazovátka má výkon 7 mW. Je tedy nutné zajistit, aby ze světlometu nevycházelo nerozptýlené laserové světlo ani po jeho poškození. Proto také nelze dálkové laser světlometry zapnout manuálně, ale jsou podmíněně navázané na další automatické systémy vozidla.

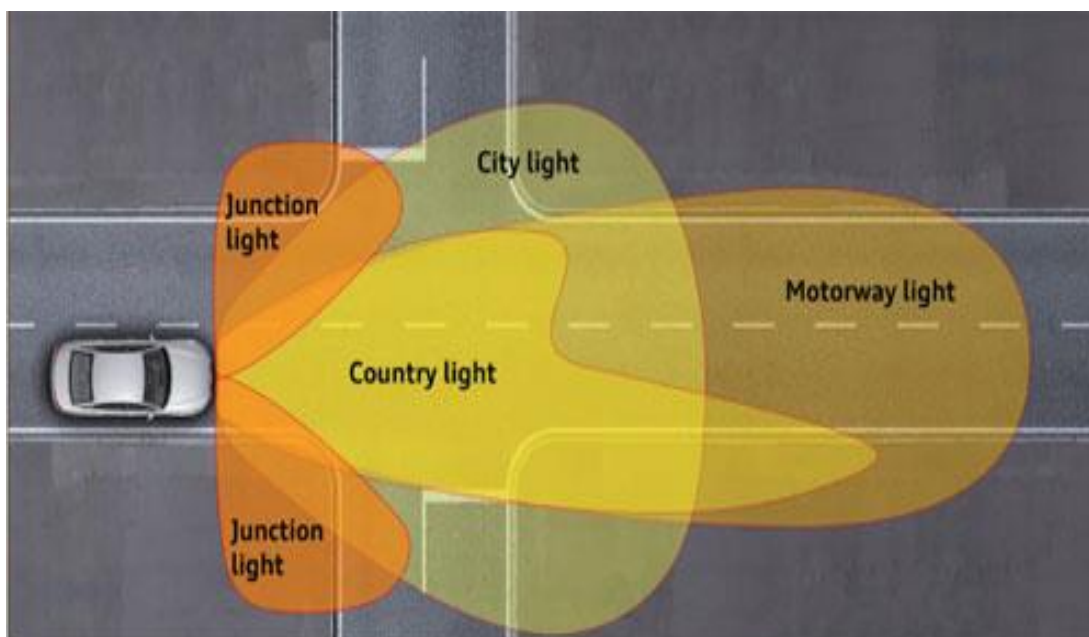
Například na kamery a senzory, které rozpoznají protijedoucí vozidla. Na jednu stranu je tato položka pochopitelná z hlediska ochrany zdraví, na druhou stranu potom není toto podmínění ideální z hlediska bezpečnosti posádky vozu, který je laserovými světlometry opatřen. Problémem takového řešení jsou například situace ve vysokých dálničních rychlostech. Když dojde k automatickému přepnutí dálkových světlometů na potkávací ve vysoké rychlosti, posádka vozidla najednou během chvíle vidí o několik set metrů méně. Daleko lépe v těchto případech fungují aktivní LED segmenty adaptivních světlometů, u kterých dochází k postupnému vykrývání protijedoucích vozidel. [12]



Obrázek 9: Dálkové LED (vlevo) vs. laser (vpravo)

3 Adaptivní systémy osvětlení

Po krátkém úvodu čítajícím představení světlených zdrojů budou následující strany věnovány moderním technologiím světlometů a jejich řešení. U standardních světlometů byl světelný kužel neměnný a svítil pouze staticky před vůz. Pro bezpečnost jízdy bylo však výhodné vyřešit, aby světla svítila do různých míst. Z hlediska správného výhledu je vhodné, aby se před vozem měnila délka, šířka i směr světelného kužele. Při jízdě po dálnici je pro viditelnost ideální dlouhý úzký světelný kužel. Při jízdě mimo obec je potom vhodné osvětlit vzdálenost před vozem vzhledem k jeho rychlosti. Se zvyšující se rychlostí je dobré zvyšovat také vzdálenost světelného kužele. Pro bezpečnost je ovšem důležité, aby vozidlo svítilo i do směrových oblouků. Při malých rychlostech naopak stačí, aby byl světelný kužel krátký, ale co nejširší tak, aby dokázal s předstihem osvětlit místo, kam bude vozidlo směřovat při změně směru jízdy. Různé režimy světlených kuželů tak osvěćují rozdílně velkou plochu před vozidlem (Obrázek 10). [13]

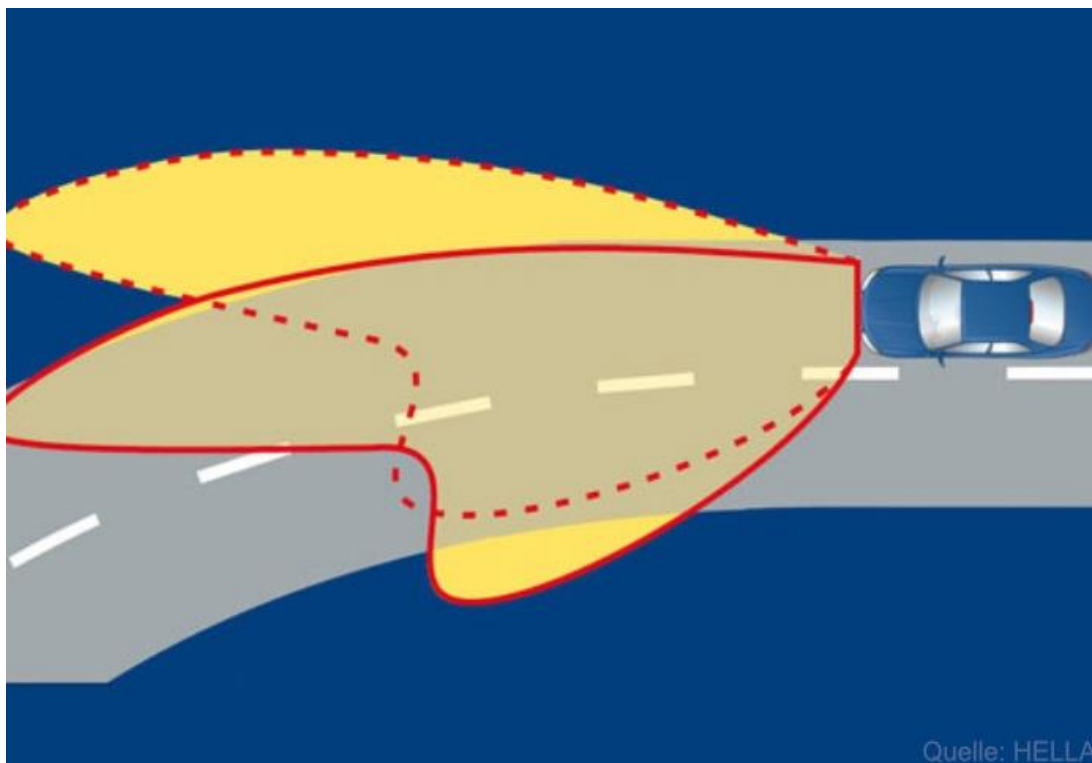


Obrázek 10: Režimy světelného kužele

První adaptací moderních světlometů bylo natáčení do směrových oblouků. Takové systémy jsou známé principiálně již od 20. let minulého století. Díky tomuto systému vozidlo osvětluje vozovku tam, kam směřuje jeho trajektorie a nesvítil mimo vozovku (Obrázek 11).

Tím je v nočních hodinách značně sníženo riziko srážky s chodcem nebo zvěří. Přísvit byl v počátcích vývoje světlometů prováděn staticky rozsvícením samostatné žárovky. Později bylo vyvinuto dynamické natáčení celé projekční optiky světlometu v horizontálním směru. Popřípadě jsou tyto dva systémy používány společně pro maximalizaci optimálních světelných parametrů.

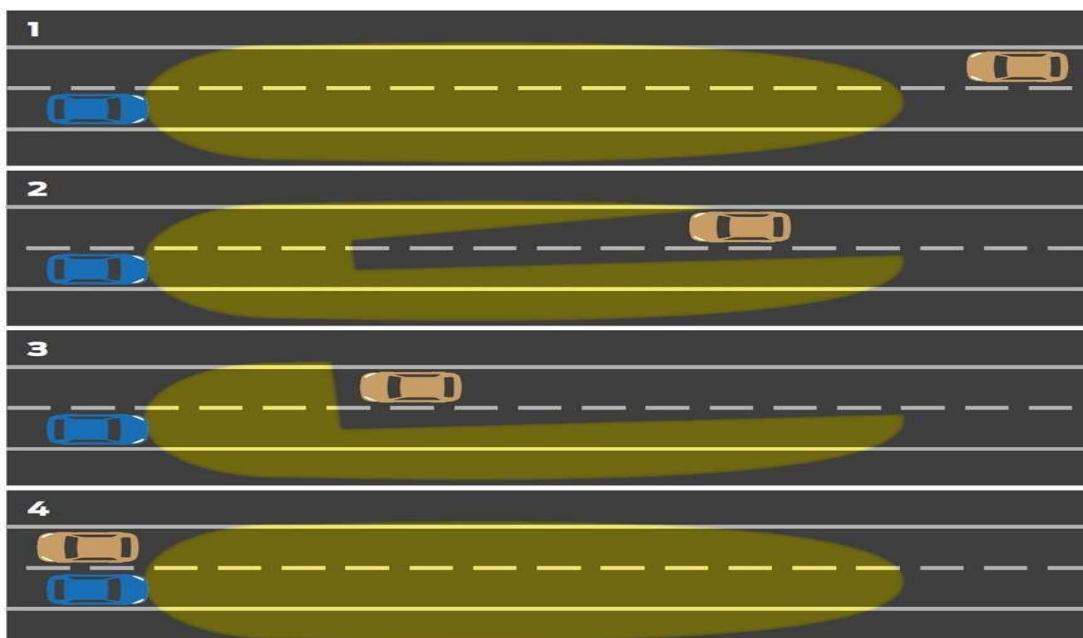
Přísvit funguje na základě výpočtů senzorů ve vozidle. Tyto senzory upravují intenzitu, ohniskovou vzdálenost či natočení světelného paprsku. Senzory hlídají například rychlost vozidla a natočení volantu. Světlomet tak může reagovat rozdílně při nižších nebo vyšších rychlostech. Světelný paprsek musí být vždy směřován tak, aby neoslňoval protijedoucí řidiče. Na pohyb a dynamické natáčení světlometů se využívá elektronických zařízení a servomotorů, které jsou napojeny na řídicí jednotky ve vozidlech.



Obrázek 11: Funkce natáčení světlometů

Dalším stupněm jsou sofistikované soustavy diod, které dynamicky osvětlují prostor před vozem. Pojem dynamicky znamená, že vůz díky propracovanému systému senzorů a světelných segmentů dokáže zastínit jakoukoli část světelného kužele, aby nedošlo k oslnění účastníků provozu (Obrázek 12).

V praxi před sebou vůz vytváří intenzivní a homogenní paprsek dálkového světla s neosvětlenými výřezy pro vozidla, která mohou být oslněna. Tento dynamický systém uvedla jako první automobilka Lexus do sériově vyráběného vozu Lexus LS v roce 2012. V roce 2013 se na pole dynamických světlometů přidalo Audi s obdobným systémem Matrix a postupně i další automobilky. Volvo u modelu XC60 nabídlo podobnou funkcionalitu, ovšem s klasickými xenonovými výbojkami. V tomto případě se jedná o jeden z mála dynamických systémů ve spojení s xenonovými projektory. [14]



Obrázek 12: Funkce dynamického vykrývání

3.1 Současný stav

S vývojem LED adaptivních světlometů byla tedy započata nová éra osvětlení vozidel. Světelný kužel LED adaptivních světlometů se aktuálně často skládá z několika nezávisle ovládaných segmentů. To umožňuje mít od určité rychlosti a při vhodných okolních podmínkách neustále rozsvícená dálková světla, aniž by byli oslněni ostatní účastníci provozu. O monitorování správných podmínek se starají senzory a kamery. Kamery s inteligentní technologií v čelním skle dokážou identifikovat vozidla jedoucí v protisměru i ve stejném směru, ale také osoby, zvířata a možné překážky provozu s reflexními prvky (Obrázek 13). [15]



Obrázek 13: Kamera snímající prostor před vozem

Tyto sofistikované systémy využívají aktuálně všechny velké automobilky, které postupně přicházejí s různými inovativními technickými řešeními.

3.1.1 Lexus - BladeScan

Automobilka Lexus je držitelem hned dvou prvenství v osvětlovací technice. Jako první totiž zavedla LED technologii do sériové výroby a zároveň vybavila první automobil adaptivními dálkovými světlomety AHS (Adaptive High-beam System). LED světlomety aktuálních modelů značky používají dvě řady diod umístěné nad sebou, dohromady je jich v každém světlometu čtyřicet. Pomocí řídicí jednotky a kamery se svítivost jednotlivých diod dokáže v reálném čase dynamicky měnit. Výsledkem je velmi dobré osvětlení vozovky a krajnic, aniž by docházelo k oslnění protijedoucích řidičů. Lexus v rámci nového modelu RX představil další inovativní technologii nazvanou BladeScan (Obrázek 14). Tuto technologii dodává firma Koito a za tento systém dostala firma ocenění CES 2020 Innovation Award. [16]

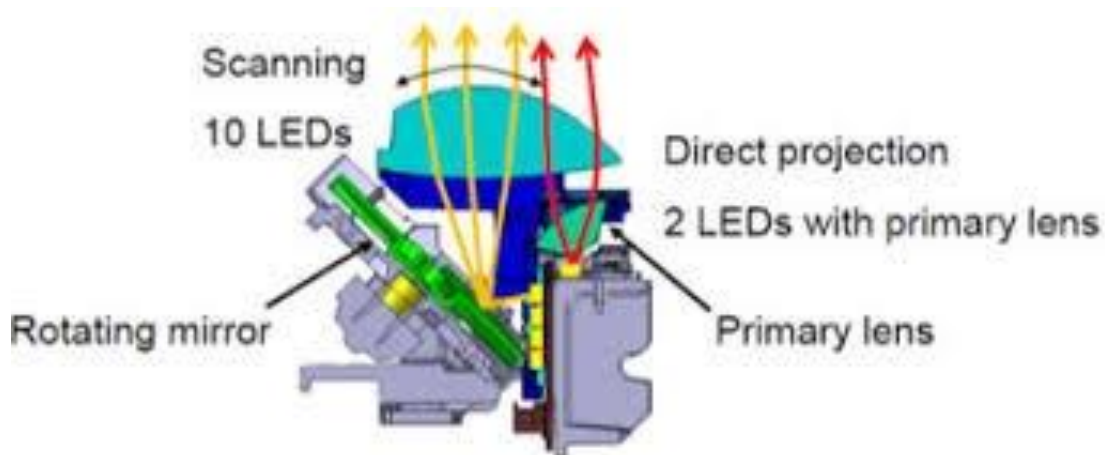


Obrázek 14: Systém BladeScan

Podstatou systému BladeScan je integrace speciálních modulů do světlometu. Každý modul je složen z dvojice rychle se otáčejících zrcadel připomínajících lopatky větrného mlýnu (Obrázek 15). Vlivem synchronizace otáček zrcadel, dynamické regulaci svítivosti jednotlivých diod a čočky, tak dokáže světlomet přesně zatemnit oblast s protijedoucím automobilem.

Světlomety BladeScan jsou podstatně přesnější a rychlejší než světlomety předchozí generace. Kromě jiného došlo také k redukci počtu diod v každém světlometu, kterých je místo čtyřiceti pouhých deset. Nový Lexus RX, do kterého byl jako první systém BladeScan

implementován, dokáže poslat světelný kužel s vyšší svítivostí i do oblastí, které doteď nebyly tak dobře osvětlené. Inženýři dokonce uvádějí, že při jízdě v noci dokáže řidič bezpečně rozpoznat chodce již na 56 metrů, přičemž při dosavadní technologii je viditelnost chodce 32 metrů. [17] [18]



Obrázek 15: Princip systému BladeScan

3.1.2 Audi - Digital Matrix LED

Nová generace osvětlení Digital Matrix LED byla představena ve voze Audi e-tron Sportback (Obrázek 16). Tato generace světlometů zvyšuje bezpečnost nejenom v noci, ale díky moderním technologiím také ve dne, kdy je takto osvětlené vozidlo snadněji rozpoznatelné pro ostatní účastníky silničního provozu. Řidič může díky intenzivnímu osvětlení vozovky a blízkého okolí včas rozpoznat rizikové situace i za špatné viditelnosti.



Obrázek 16: Audi e-tron LED

Aktivní asistenční funkce ve vozech Audi vybavených světlomety Matrix LED a systémem nočního vidění navíc dokážou detekovat potenciální nebezpečí ještě rychleji a cíleným osvětlením na něj upozornit řidiče. Svou roli hraje nejen intenzita světla, ale také jeho barva. Méně namáhaný zrak snižuje únavu řidiče, což je důležité především při dlouhých cestách za tmy. V neposlední řadě nesmí docházet k oslňování ostatních účastníků silničního provozu, což má ve všech evolučních stupních adaptivních světlometů Audi Matrix LED na starosti vyspělé elektronické řízení.

Digitální světlomety Matrix LED jsou pro nový model Audi e-tron Sportback dodávány jako nejvyšší stupeň výbavy v oblasti osvětlení a od běžných světlometů se liší nabídkou mnoha inovativních funkcí. Světlomety disponují funkcí Leaving Home, při které jsou promítány animace na stěnu garáže nebo vozovku. Prostor před vozem se přitom promění v cíleně osvětlené jeviště. Podobně je koncipována také funkce Coming Home, díky níž se inovativní elektromobil po zaparkování emotivně rozloučí se svým majitelem.

Tlumená světla disponují vynikající kvalitou osvětlení, které je optimalizováno variabilním rozložením světla v režimech pro jízdu zatáčkou, městem nebo na dálnici. Zdokonalena byla i dálková světla, která dokáží ještě precizněji odcloňovat ostatní účastníky silničního provozu. Především však nabízejí nové funkce s rozšířenou realitou, jako je osvětlení pro jízdu v jízdním pruhu a orientační světlo. Osvětlení pro jízdu v jízdním pruhu vytváří na rychlostních silnicích světelný pás (Obrázek 17), který velmi jasně osvětluje jízdní pruh před vozidlem a při změně jízdního pruhu se dynamicky přizpůsobuje novým okolnostem.



Obrázek 17: Světelné zvýraznění jízdního pruhu

Řidič se může díky tomu lépe soustředit na příslušný jízdní pruh, což zvyšuje bezpečnost silničního provozu. Orientační světlo navíc předvídavě ukazuje budoucí polohu vozidla v rámci jízdního pruhu tmavými neosvětlenými plochami v určité vzdálenosti před vozem. Tím je podporována bezpečná jízda, zejména na úzkých silnicích nebo ve zúžených pruzích při průjezdu úsekem práce na silnici.

Ve spojení s asistentem nočního vidění přichází ke slovu „označovací světlo“. Jakmile systém rozpozná chodce, upozorní na něj řidiče svazkem světla se zvýšenou intenzitou. Tím se snižuje riziko, že by řidič chodce v blízkosti vozovky přehlédl (Obrázek 18).



Obrázek 18: Detekce nebezpečí

Technickým základem inovativních světlometů Audi Digital Matrix LED je technologie DMD (Digital Micromirror Device - digitální zařízení s mikro zrcadly), která se používá například ve vyspělých videoprojektorech. Digitální světlometry osvětlují vozovku ve vysokém rozlišení světlem rozloženým na miniaturní pixely prostřednictvím malého čipu. Takový čip je potom osazen přibližně jedním milionem mikro zrcadel s délkou strany pouhých několik setin milimetru. Pomocí elektrostatických polí lze každé z nich naklápět do různých poloh. V závislosti na jejich poloze se tak světlo z diod dostává buď na vozovku pomocí soustavy čoček, nebo je odstíněno, aby nedopadalo na místa, která mají zůstat neosvětlená. Úroveň bezpečnosti navíc zvyšuje využívání technologie rozšířené reality a schopnost světelné komunikace s okolím. [19]

3.1.3 Mercedes-Benz – Digital light

Rozlišení dva miliony pixelů v HD kvalitě, to je ve zkratce Digital Light. Revoluční technologie světlometů, kromě vysokého výkonu světlometů usnadňuje komunikaci a pomáhá řidiči s orientací v provozu. Prvním sériově vyráběným automobilem s touto technologií je na podzim roku 2020 představený Mercedes-Benz třídy S (Obrázek 19). Nová generace HD světlometů od Mercedes-Benz obsahuje čipy, které pracují s 1,3 miliony prvků na povrchu s úhlopříčkou 0,55 palce. Celkem tedy s 2,6 miliony prvků na vozidlo.

Technologie DMD, dostupná ve zjednodušené formě například v sektoru filmových projektorů, byla rozvinuta pro použití ve vysoce výkonných světlometech. Každé z těchto malých zrcadel lze individuálně ovládat elektronicky a selektivně se pohybuje tam a zpět mezi dvěma polohami. Takto vytvořená matice je rovnoměrně osvětlena vysoce svítivými LED a promítnuta na silnici během několika milisekund za pomoci víceúrovňového systému objektivů. Každé zrcadlo tak vytváří pixel promítaného obrazu a svým pohybem překlopení jej může zapnout, vypnout nebo ztlumit. Inteligentní řídicí logiku potřebnou pro dynamické světelné funkce vyvinul samotný Mercedes-Benz. [20] [21]



Obrázek 19: Digital light

V rámci vývojových prací musel být tento projekční systém s maticí mikro zrcadel realizován tak, aby vyhovoval automobilovému průmyslu. Všechny systémové prvky musely splňovat

náročná mechanická, elektronická, chemická, tepelná i optická kritéria automobilového průmyslu a musela být navržena tak, aby splňovala vysoké standardy kvality.

V roce 2020 byl tedy poprvé v historii na světelném modulu integrován duální systém mikrořadičů. Byly použity velmi výkonné mikro kontroléry s grafickou programovací jednotkou (GPU) a externí paměť Flash, které vydrží velmi vysoké teploty, které stoupají až k 125 °C. Přenos obrazových dat vyžaduje použití vysokorychlostních video rozhraní s přenosovými šířkami > 1 Gbit / s. Tyto prvky byly ve vozidlech dříve používány pouze v oblasti palubních infotainmentů. Pro úspěšný vývoj tohoto systému bylo nutné vybudovat veškerou kompetenci grafického programování a generování obrazu videa. Součástí vývoje byly také výpočetní vestavěné mikro kontroléry.

V tomto revolučním systému s vysokým rozlišením se světelné funkce a rozložení světla již neprovádějí pouze prostřednictvím návrhu systému čoček a zrcadel, ale jsou definovány zejména softwarovými algoritmy. To vytváří zcela nové možnosti dynamického rozložení světla během jízdy. Například promítání symbolů v závislosti na informacích senzorů vozidla. Algoritmy získávají podrobné informace o okolí ze senzorů vozidla, jako jsou kamery či radary, které detekují ostatní účastníky silničního provozu. V reálném čase poté výkonné jednotky vyhodnocují hodnoty jasu pro každý pixel světlometu. V rámci milisekund tak dávají světlometům příkazy pro přizpůsobení rozložení světla za všech situací.

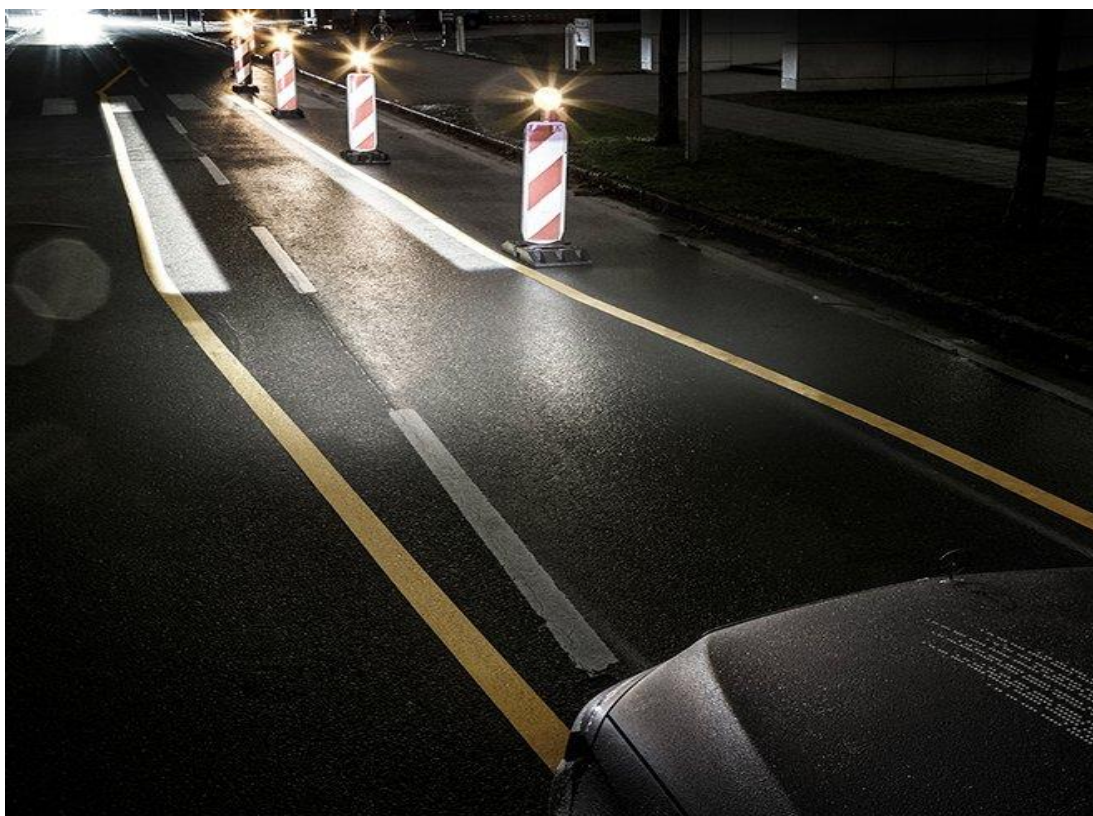
Tato dynamika a přesnost dává inteligentnímu systému téměř nespočet možností, jak zajistit ideální rozložení světla s vysokým rozlišením, které se dokonale adaptuje vzhledem k okolním podmínkám. Pro nejvyšší osvětlovací prostor pracuje modul h-Digi, který je opatřen technologií DMD, společně s dalšími světelnými moduly. Pro delší vzdálenosti se používá větší 84 pixelový maticový modul s třířádkovým osvětlovacím polem. Přední rozsah a boční osvětlení generují tři malé základní světelné projektory, které jsou ve světlometu umístěny jeden nad druhým.

Vedoucí vývoje operačních systémů vozidel ve společnosti Daimler - Gunter Fischer sám považuje za rozhodující faktor těchto světlometů digitální inteligenci a nikoli samostatné komponenty světlometu. Pokud vozidlo identifikuje chodce na okraji komunikace, může na povrch vozovky například vykreslit přechod pro chodce, jako signál k bezpečnému přecházení (Obrázek 20). Světlomety mohou na povrch vozovky také promítat různé piktogramy s vysokým rozlišením. Vůz s technologií Digital Light může tak varovat řidiče před nebezpečím a promítnout před vozidlo relevantní informace o varování.



Obrázek 20: Projekce přechodu pro chodce

Pokud například hrozí, že vozidlo opustí svůj jízdní pruh a vjede do protisměru, je na vozovku promítnut symbol udržování jízdního pruhu. Stejně tak mohou být na vozovku vyznačeny symboly ukazující práci na silnici, popřípadě může být vyznačen zužující se pruh (Obrázek 21). Světlomety také mohou zvýšeným jasem upozorňovat na chodce, cyklisty nebo zvěř u cesty, aby je řidič dříve a lépe registroval a mohl tedy zareagovat na případnou kolizi s včasným předstihem. V plánu je také promítání navigačních prvků před vozidlem. [21] [22]



Obrázek 21: Označení jízdního pruhu

Digitalizace světlometů jednoznačně představuje milník v dalším vývoji technologie osvětlení vozidel. Pokud se podaří zavést tento přístup do co největšího počtu různých vozidel, může přispět k dosažení stanoveného cíle v rámci strategie nula. Jedná se o strategii, jejímž principem je soubor opatření, která mají zabránit tragickým nehodám na PK. Vývoj druhé generace Digital Light již probíhá a tato výkonná technologie bude tak v dohledné době dostupná i pro další segmenty vozidel. [20] [21]

3.2 Osvětlení interiéru

Mercedes se ovšem nesoustřeďuje pouze na technologii předních světlometů. Interiér nového Mercedesu třídy S je vybaven až pěti obrazovkami a 250 samostatnými LED světly (Obrázek 22). Tato světla neslouží pouze jako standardní ambientní osvětlení pro navození klidné atmosféry v interiéru vozidla, ale jedná se o funkční bezpečnostní a komunikační rozhraní.



Obrázek 22: LED interiér Mercedes Benz

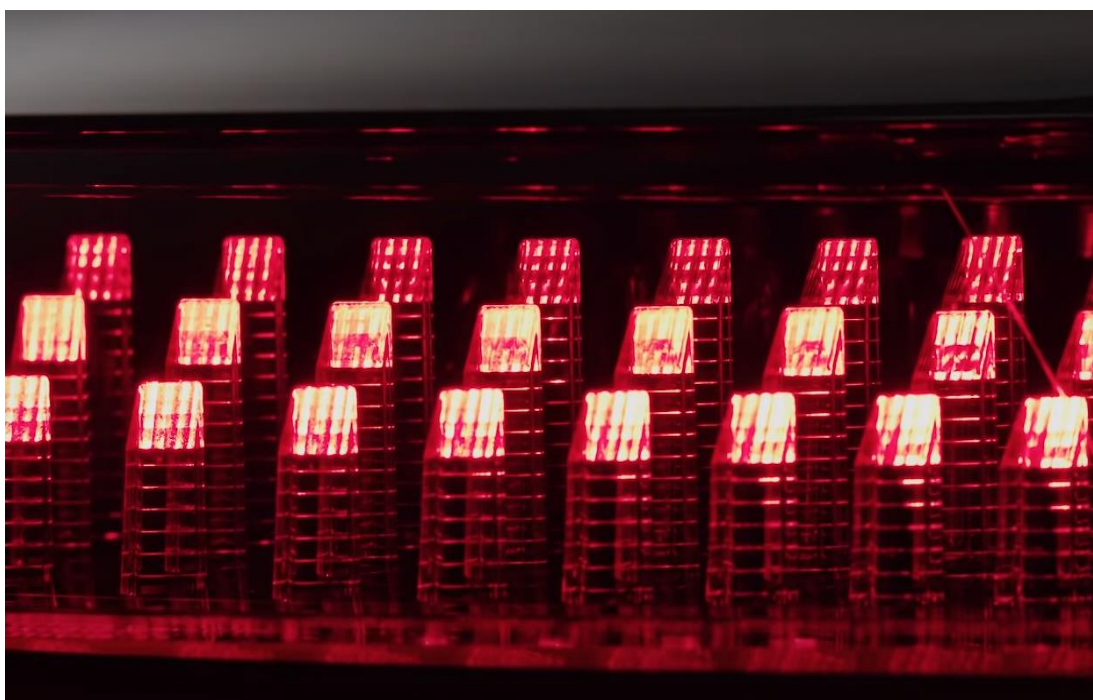
Například v momentě, kdy řidič odbočí ze svého jízdního pruhu bez znamení změny směru jízdy, popřípadě senzory zaznamenají vozidlo v mrtvém úhlu, interiérová světla se rozblíkají červeně. Stejně tak červeně rozsvícená světla indikují, pokud vozidlo stojí zaparkované a k vozidlu se blíží například cyklista, který by mohl být ohrožen otevírajícími dveřmi. V neposlední řadě potom osvětlení indikuje červeným světlem, pokud se před vozidlem objeví překážka silničního provozu a vozidlo tímto upozorní řidiče na nouzové brzdění (Obrázek 23). Řidič díky tomuto osvětlení dostává velice dobře periferně viditelné vizuální upozornění na blížící se nebezpečí, a tak může mít více času na reakci. [23]



Obrázek 23: LED indikace interiéru Mercedes Benz

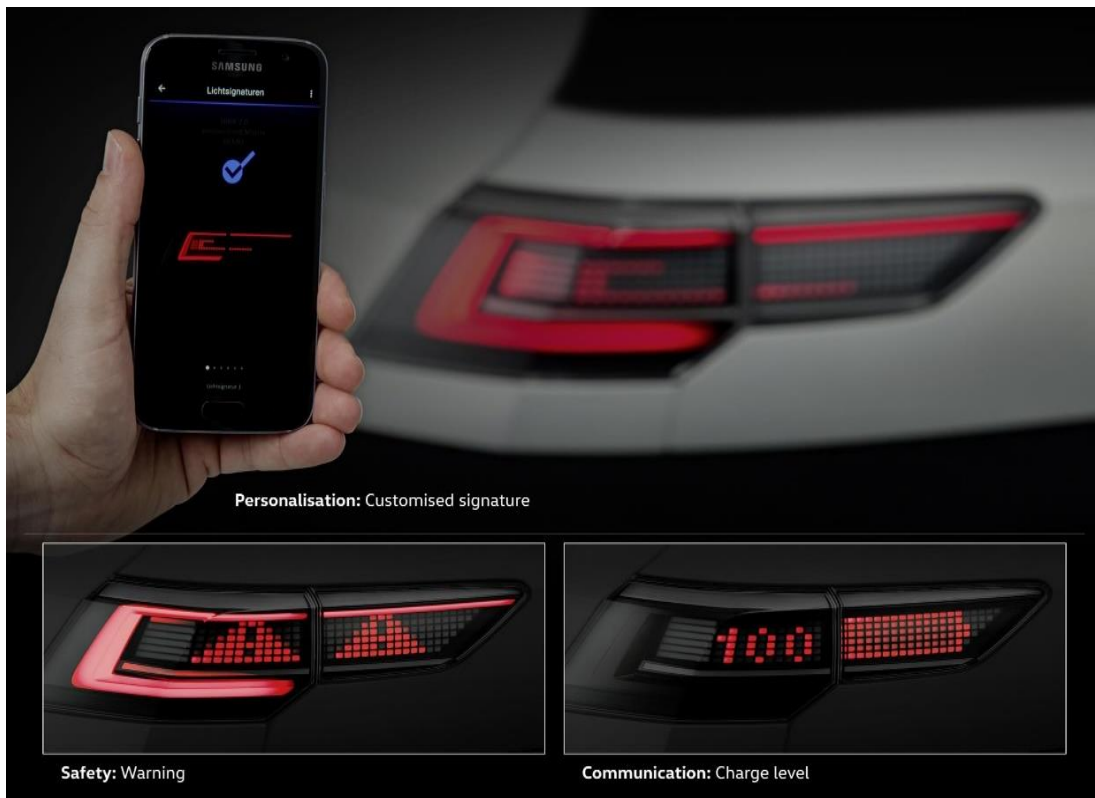
3.3 Osvětlení zadní části vozu

Také zadní světlomety procházejí značným vývojem. Kromě designového pojetí zadních svítílen již několikrát zmiňované třídy S modelového roku 2021 od Mercedesu, které se skládají z devadesáti jednotlivě nasvícených hranolů (Obrázek 24), mohou také zadní světlomety vizuálně promítat množství informací.



Obrázek 24: Zadní LED krystaly

Například koncern Volkswagen přišel v roce 2018 s několika koncepty dynamických zadních lamp (Obrázek 25). První takové technologie počítaly spíše s individualizací pro majitele, popřípadě s vizualizací různých piktogramů pro komunikaci člověk - stroj. Takový zadní světlomet potom může například ukázat, na kolik procent je nabitá baterie elektromobilu. Světlomet také může při odchodu od vozidla znázornit, zda je zamknuté. Popřípadě může upozornit na nenadálou situaci. U těchto LED zadních světlometů bylo myšleno i na konektivitu s mobilním telefonem, pro individuální nastavení jednotlivých světelných ploch zadních světlometů.



Obrázek 25: Individualizace zadních světlometů

Další koncept byl zaměřen na pomoc při parkování (Obrázek 26). Osvětlení se tak fakticky zařadilo mezi další asistenty při parkování po bok parkovacích senzorů či kamer. Pomocí promítání čtyř čar na vozovku má tato nová vizuální technologie pomáhat řidiči v orientaci při pohledu do zpětného zrcátka. V rušných místech potom také označovat nebezpečný prostor pro chodce okolo vozu. Prototyp tohoto systému byl zabudován do nárazníku a pomocí projekce tak svítil do prostoru za vozem. Pro další využití se ovšem počítá s přesunutím světelných zdrojů do zadních svítlen.

Dalším vizuálně komunikačním rozhraním bylo promítání intenzity brzdění na zadní sklo (Obrázek 27). Tento systém se vyznačuje tím, že podle stupně osvětlení ukazuje okolí, jak vozidlo vybaveno tímto zařízením intenzivně brzdí. Čím více je sešlápnutý pedál brzdy, tím více pruhů se rozsvítí. Podle Volkswagenu řidiči jedoucí za vozem s takovou progresivní

signalizací reagují na podnět brzdění dříve, čímž se značně snižuje reakční doba a snižuje riziko nehod.



Obrázek 26: VW Touareg LED parkovací asistent



Obrázek 27: Vizuální zobrazení dynamiky brzdění

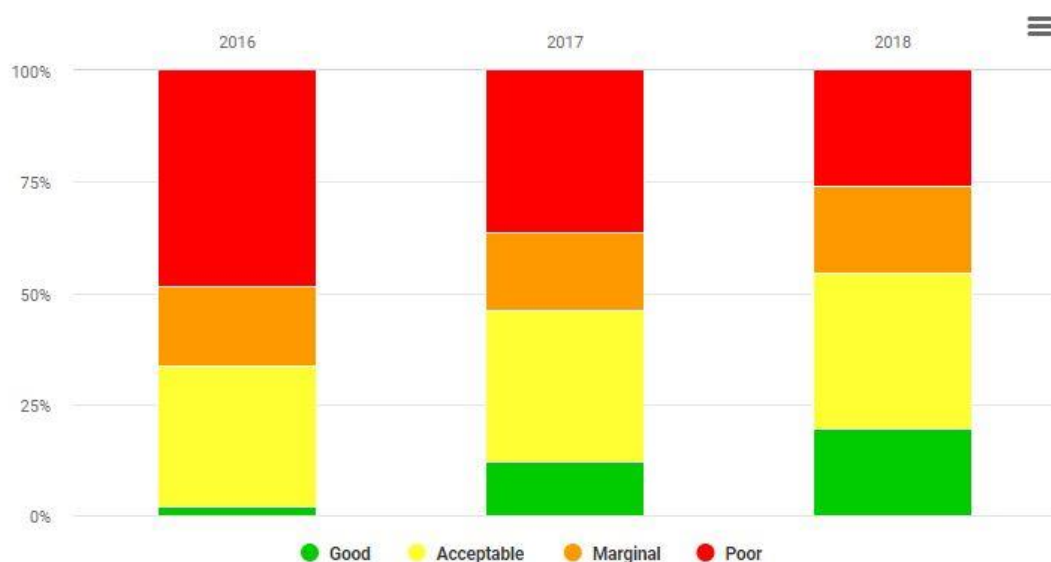
Vzhledem k homologačním procesům a technickým předpisům se taková vizuální zařízení ještě v reálném provozu nemohou naplno využít. Prozatím tedy zadní inovativní světlomety plní například funkci designového prvku při odemknutí či zamknutí vozu, kdy si majitel vozidla může v palubním počítači individuálně nastavit, jakou animaci u svého vozu preferuje. [24]

4 Bezpečnost

Velký světelný výkon a všechny osvětlovací prvky musí být správně usměrněny tak, aby nedošlo k oslnění protijedoucích řidičů. Při oslnění může dojít nejenom k problému s bezpečností na PK, ale také ke zdravotním problémům. Aby se předcházelo takovým problémům, jsou světlomety testovány v oblasti intenzity a směru světelných paprsků.

4.1 Testy

Organizace IIHS přišla s testy světlometů v roce 2016 a od tohoto roku jsou zkoušky světlometů pravidelně prováděny. Jedná se o nezávislou americkou organizaci, jejíž zkratka znamená Insurance Institute for Highway Safety. Hned v prvním roce testování se ukázalo, že standardům z hlediska osvětlení nevyhovuje mnoho modelů vozidel. Světla svítla nedostatečně, nebo tak, že oslňovala protijedoucí řidiče. V některých případech dokonce obojí. V prvním roce bylo otestováno 95 modelů a pouze dva si odnesly nejlepší možné hodnocení. Testy v následujících letech vykazovaly mírné zlepšení kvality světlometů (Obrázek 28). Kompletní výsledkové listy se autorovi této práce podařilo dohledat do roku 2018. V grafu je znázorněna situace hodnocení poměrem udělených známek v jednotlivých letech. Zelená barva znamená nejlepší možné hodnocení, žlutá druhé nejhorší, následuje oranžová a nejhorší hodnocení je značeno červenou barvou.



Obrázek 28: Výsledky testování v jednotlivých letech

Dále bylo poukázáno na značné rozdíly mezi standardními a příplatkovými světlomety, které jsou opatřeny lepší technologií.

V roce 2018 bylo otestováno osvětlení u 165 nových vozidel. Nejlepší hodnocení získalo 32 z nich. Dalších 58 vozů obdrželo druhé nejlepší hodnocení. IIHS vydalo upozornění, že se

zmíněné výsledky týkají pouze nadstandardních světlometů, které se nachází v příplatkových výbavách vozidel. Když se pak odborníci zaměřili na porovnání jednotlivých variant, došli k alarmujícím výsledkům. Ze všech testovaných aut totiž pouze dva modely nabízí kvalitní světla bez ohledu na to, jakou konkrétní výbavu si zákazník zvolí. Dále potom pouze další čtyři modely nabízí v případě základních světel druhé nejlepší hodnocení. Jmenovitě se jedná o Genesis G90 a Lexus NX, Chevrolet Volt, Genesis G80, Mercedes-Benz třídy E a Toyota Camry (Obrázek 29).

	Highest rating	Lowest rating
Genesis G90	Green	Green
Lexus NX	Green	Green
Chevrolet Volt	Green	Yellow
Genesis G80	Green	Yellow
Mercedes-Benz E-Class	Green	Yellow
Toyota Camry	Green	Yellow

Obrázek 29: Porovnání základních a příplatkových světel

Organizace IIHS také objevila případy, kdy může mít stejný model vozidla v jedné verzi nejlepší hodnocení a zároveň v základní výbavě získat nejhorší možné hodnocení. Takových vozů bylo zjištěno v rámci studie celkem sedmnáct. Jako příklad je uváděn vůz Hyundai Kona. Ten v kombinaci s diodovými světlomety obdržel nejlepší hodnocení. Kromě jiného také díky tomu, že pravou část vozovky potkávací světla osvítila na vzdálenost 137 m. Výsledek testu pro základní halogenové světlomety byl pouze 67 m. Rozdíl dosvitu tedy mezi základními a příplatkovými světlomety činí 70 metrů. V roce 2018 vydala organizace IIHS upozornění pro 43 vozů. U těchto vozidel jsou světlomety jak standardní, tak příplatkové hodnocené nejhorší možnou známkou.

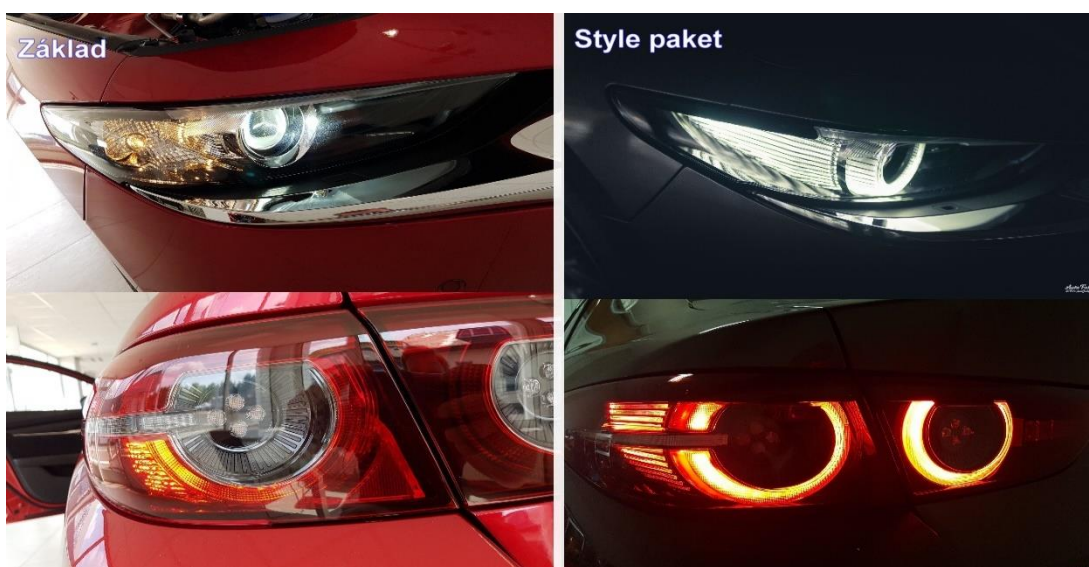
Obecně jde o testy specializující se na produkci vozů pro americký trh, ovšem například model Hyundai Kona je k dispozici i pro Českou republiku. Tento vůz je s lépe hodnocenými diodovými světlomety dostupný na našem trhu pouze v nejvyšší výbavě Premium, ke které musí být nakonfigurován paket Luxury. Paket s LED světlomety stojí 90 tisíc korun. Právě to IIHS označuje za problém. Zákazníci by neměli být nuceni k nákupu plně vybavených aut, aby dostali kvalitní světlomety, které potřebují k bezpečnému cestování za tmy. Stejný názor má i David Aylor, manažer testování prvků aktivní bezpečnosti IIHS. [25]

S tímto problémem se skvěle vypořádala automobilka Mazda. Od roku 2018 není možné nalézt v konfigurátoru pro Českou republiku vůz s halogenovými potkávacími či dálkovými světlomety. Osvětlení základních provedení modelů je vždy osazeno LED technologií v potkávacím i dálkovém režimu. Příplatky si potom automobilka účtuje pouze v případě

designových prvků. Pokud se jedná o vozidlo základní výbavy, má ve formě halogenové žárovky pouze obrysová či denní světla. Jestliže si majitel koupí vrcholnou verzi, tak má obrysová i denní svícení v LED technologii (Obrázek 30). Ovšem potkávací a dálková světla svítí u obou variant stejně.

Dle výsledků organizace IIHS se v průběhu let zvýšil počet světlometů hodnocených nejvyšší známkou. Většina ale pořád svítí průměrně až podprůměrně. Organizace IIHS celkem vyzkoušela 424 různých světel, kdy 67 % z nich dostalo nejhorší dvě možné známky.

Organizace IIHS se věnuje kromě testování předních světlometů také standardním nárazovým zkouškám. Jedná se o období hodnocení bezpečnosti vozidel, které provádí například uznávaná evropská organizace NCAP. Vzhledem k propojení organizace IIHS s bezpečnostními zkouškami a skutečností, že osvětlení vozidel má jistý vliv na bezpečnost provozu, bylo rozhodnuto o zařazení hodnocení světlometů do celkového bezpečnostního hodnocení vozidel. Od roku 2018 proto platí, že nejvyšší možné celkové hodnocení bezpečnosti Top Safety Pick+ je organizací IIHS uděleno pouze vozidlu, které získá kromě jiných splněných náležitostí i nejlepší možné hodnocení za funkčnost předních světlometů. Podle souhrnné zprávy na toto pravidlo doplatilo jen za rok 2018 čtyřicet testovaných vozidel, které by jinak obstály s nejvyšším možným hodnocením z hlediska bezpečnosti. Kvůli špatným světlometům ovšem tato vozidla obdržela celkově pouze druhé nejlepší hodnocení Top Safety Pick. [25]



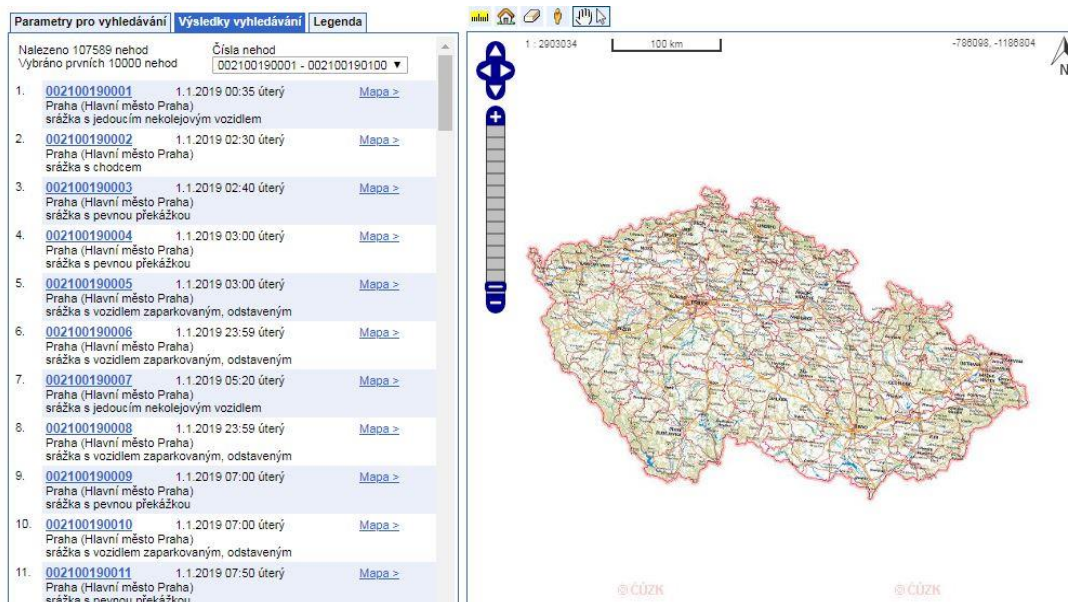
Obrázek 30: Porovnání světlometů Mazda3 2020

4.2 Nehodovost v dopravě

Vliv světlometů má výrazný podíl na bezpečnost v dopravě a úzce tedy souvisí i s nehodovostí. Dle statistiky bylo v roce 2019 evidováno 107 589 dopravních nehod (Obrázek 31). Z tohoto

počtu se stalo 27 733 nehod v nočních hodinách. Ovšem je nutno podotknout, že v nočních hodinách je intenzita provozu výrazně nižší než přes den.

Jednou z oblastí, kde má osvětlení značný vliv na nehodovost, jsou srážky s lesní zvěří. V roce 2019 bylo evidováno 15 510 srážek s lesní zvěří, z toho se odehrála více jak polovina nehod v noci. Konkrétně se jednalo o 9139 srážek s lesní zvěří v nočních hodinách. Mnohým z těchto nehod bylo však možné předejít, pokud by vozidla disponovala výkonnějšími světly nebo jedním z moderních systémů osvětlení.



Obrázek 31: Jednotná dopravní vektorová mapa

Další skupinou nehod, ve kterých může mít významnou roli nesprávně fungující osvětlení, jsou dopravní nehody, které se jsou zaviněny nedodržením bezpečné vzdálenosti. V roce 2019 bylo zapříčiněno nedostatečným dodržením bezpečné vzdálenosti 7231 nehod. Podle silničního zákona jsou řidiči povinni dodržovat mezi vozidly takovou vzdálenost, aby byli schopni se vyhnout srážce v případě náhlého zastavení nebo snížení rychlosti vozidla, které jede před nimi. V mnoha případech tento problém nastává při náhlém zpomalování vozidel před kolonou.

V této diplomové práci se tak autor rozhodl tuto problematiku prozkoumat a ověřit, zda není možné zvýšit bezpečnost provozu implementací vhodného druhu vizuálního signálu. [26]

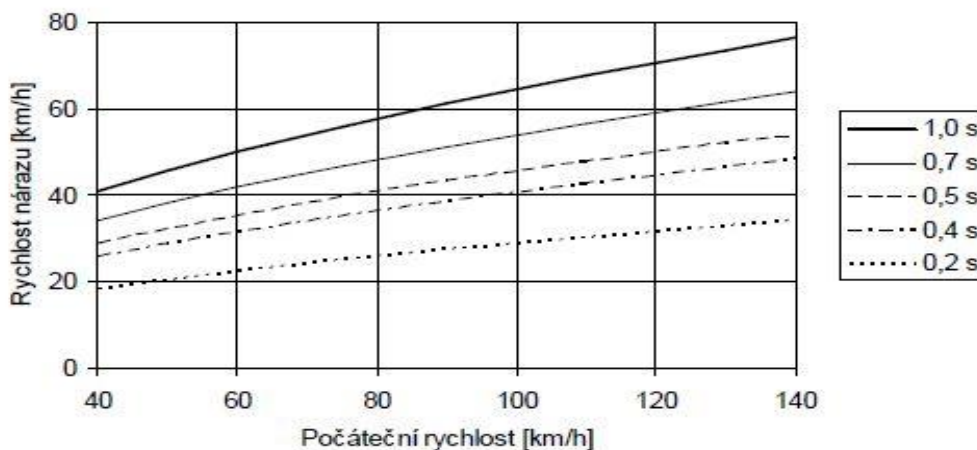
4.3 Reakční doba

V tomto ohledu je nutné zmínit velmi důležitou hodnotu, kterou je reakční doba řidiče. Definovat ji lze jako časový interval, který uplyne od okamžiku vjemu do okamžiku vykonání činnosti, kterou lze odvrátit hrozící nebezpečí. Tedy doba, která uplyne od prvního zpozorování překážky do sešlápnutí brzdového pedálu.

Reakční doba se obvykle člení na optickou, psychickou a svalovou reakci. Optickou reakcí je označována doba od začátku optického vnímání objektu do jeho zafixování. Trvání této reakce závisí zejména na tom, zda byl objekt ve směru pohledu řidiče nebo musel řidič směr pohledu přesunout po spatření periferním viděním. Do psychické reakce je zařazena doba rozhodování řidiče o provedení manévru. Svalová reakce zahrnuje dobu fyzického počátku reagování řidiče, tedy například přesun nohy z polohy akcelérátoru na pedál brzd. Pro úplnost se pak do tzv. celkové reakční doby připočítává odezva vozidla, která se v případě brzdění člení na prodlevu brzd a náběh brzdového účinku.

Reakční doba je prodlevou objektivně neodstranitelnou. Opoždění počátku brzdění má značný vliv na rychlost nárazu a tím na závažnost a následky střetu. Při rychlosti 50 km/h ujede vozidlo přibližně 13,9 m za jednu sekundu. Což má za následek, že do překážky, před kterou vozidlo zastavilo, by totožné vozidlo v případě o sekundu pomalejší reakce řidiče narazilo v rychlosti 46 km/h. Další rychlosti nárazu do překážky při opožděném začátku brzdění jsou zobrazeny na následujícím obrázku (Obrázek 32). [27]

Opoždění začátku brzdění (s)	Počáteční rychlost (km/h)					
	40	50	60	90	110	130
0,2 s	18	20	22	27	30	33
0,4 s	26	29	32	39	43	47
0,5 s	29	32	35	43	48	52
0,7 s	34	38	42	51	57	62
1,0 s	40	46	50	61	68	74



Obrázek 32: Rychlost nárazu vzhledem k opožděnému počátku brzdění

4.4 Současné trendy snižování reakční doby

Každé snížení reakční doby tedy výrazně přispívá ke snížení následků dopravních nehod. Je prokázáno, že optická i psychologická část reakční doby může být snadno ovlivněna vhodným upozorněním na sledovaný podnět. Pro snížení optické části reakční doby, je zapotřebí

umožnit řidiči, aby spatřil překážku co nejdříve. Z hlediska snížení psychologické části reakční doby je vhodné, aby bylo znamení pro řidiče srozumitelné.

Právě v tomto ohledu mohou výrazně pomoci nové typy světelných signálů a inovativní vizuální komunikace. Tohoto jevu jsou si vědomy i samotné automobilky, a tak se tématu snížení reakčních dob věnují. Jsou konstruována nová technická řešení, která mají za úkol dříve a lépe upozornit řidiče na potenciální nebezpečí. Jedním z příkladů snahy o snížení reakční doby při vjezdu do kolony je koncept od automobilky Volkswagen, který byl přestaven v roce 2018 (Obrázek 33).

Toto rozhraní je složeno z grafického panelu, který je umístěn na zadní části vozu mezi koncovými světly. Na tento panel je umožněno promítat množství informací a piktogramů. Dále je toto rozhraní opatřeno LED pruhem u horní hrany panelu střechy a v neposlední řadě také projekcí na vozovku. Například v případě upozornění na blížící se kolonu se všechny vizuální prvky rozsvítí oranžově a na obrazovce se objeví piktogram znázorňující kolonu vozidel. [28]



Obrázek 33: Upozornění před kolonou

Vzhledem k faktu, že takové osvětlení může mít pozitivní dopad na zkrácení reakční doby řidičů, bude vhodné prozkoumat různá vizuální rozhraní a ověřit jejich případnou funkčnost. V případě, že se podaří prokázat pozitivní vliv na snížení reakční doby řidiče, může tato inovace v osvětlení přispět k bezpečnějšímu provozu na pozemních komunikacích.

PRAKTICKÁ ČÁST

5 Možnosti testování

V rámci praktické části diplomové práce se autor rozhodl otestovat různé typy upozornění při vjezdu do kolony. Před zahájením testování provedl autor analýzu, jaké prostředí je pro daný experiment vhodnější. Z hlediska testovaného prostředí se nabízí dvě základní rozdělení, kde je možné experiment realizovat. Jedná se o reálné prostředí anebo může být experiment proveden v prostředí virtuálním. Jednotlivé výhody a nevýhody daných prostředí budou následovně popsány.

5.1 Reálné prostředí

Experiment, který probíhá v reálném prostředí, nabízí nespornou výhodu v tom, že jsou měřené reakce a chování probandů naprosto věrohodné. Chování probandů při takovém experimentu ve většině případů odpovídá chování v reálném životě, a tak jsou naměřená data velice přesná.

Největší nevýhodou tohoto testování je naopak bezpečnost. U takovýchto experimentů může dojít například ke kolizi vozidel, a to by bylo velkým bezpečnostním rizikem pro všechny účastníky měření. Další nevýhodou je příprava a realizace takového experimentu. Připravit testovací sekvenci v reálném prostředí je s ohledem na potřebný sběr dat velice náročné nejenom časově, ale také materiálně. Také z hlediska pronájmu testovací plochy je tento způsob testování náročný. Testování jakéhokoli nehomologovaného zařízení je totiž v reálném provozu nelegální a je v tomto případě nutné žádat o výjimky a povolení u kontrolních orgánů.



Obrázek 34: Experiment v reálném prostředí

5.1 Virtuální prostředí

Měření experimentu ve virtuálním prostředí má také svá jistá pozitiva i negativa. Největší výhodou testování v tomto prostředí je především bezproblémovost z pohledu bezpečnosti práce. Pokud dojde k selhání vozidla či jakékoli části experimentu, tak není proband ani okolí nijak fyzicky ohroženo. Velkou výhodou virtuálního prostředí je také naprostá přesnost opakovaných měření. I u několika desítek opakování je možné spouštět simulaci za stále stejných podmínek. Naprogramovaná situace bude vždy ve stejném čase na stejném místě, a tak je zaručena objektivnost celého experimentu. Vytvoření scény ve virtuálním prostředí není také tolik materiálně náročné, jako v případě experimentu v reálném čase. Navíc jsou případné změny či úpravy jakékoli části experimentu ve virtuálním prostředí snáze a rychleji realizovatelné. V případě měření ve virtuálním prostředí na vozidlovém simulátoru (Obrázek 35), jsou simulovány jednotlivé stavy objektů a díky tomu lze zpětně sledovat velké množství parametrů.

Toto prostředí má ovšem i svá negativa. A to například specifické podněty a reakce člověka ve virtuálním prostředí oproti reálným situacím. Stále jsou pozorovány mírné odchylky měření od reálného prostředí, a tak je nutné data před použitím v reálném světě ověřit.



Obrázek 35: Pohled z vozidlového simulátoru

Autor má zkušenost s prováděním experimentu v reálném prostředí během zpracování bakalářské práce (Obrázek 34), ale z hlediska bezpečnosti účastníků experimentu zvolil pro testování vlivu osvětlení experiment ve virtuálním prostředí.

6 Experiment

Na následujících stranách bude podrobně popsána praktická část. Výstupem experimentu bude porovnání vlivu vizuálních bezpečnostních rozhraní zadní části vozu na reakční dobu řidiče. Cílem tohoto experimentu je vyhodnotit, zda nově dostupné a navržené komunikační rozhraní může přispět ke zvýšení bezpečnosti na pozemních komunikacích z hlediska bezprostředních reakcí řidičů při náhlém brzdění.

6.1 Popis scénáře

Scénář experimentu se odehrává v nočních hodinách na vícepruhové dálnici. Proband je během tohoto experimentu ve vozidle se zapnutými potkávacími světly. Probandovým úkolem je dodržovat pravidla silničního provozu a bezpečný rozestup od vozidel (Obrázek 36).



Obrázek 36: Zobrazení scény

Později proband s vozidlem z výhledu dojede jedoucím vozidla, která jedou sníženou rychlostí a tím simulují hustý provoz v oblasti (Obrázek 37). Jedná se o dvě nákladní soupravy jedoucí 80 km/h v pravém jízdním pruhu. Konkrétně tahače Renault Magnum se skříňovým návěsem, které jedou v tandemu za sebou a udržují si stále stejnou bezpečnostní vzdálenost. Vedle první soupravy jede v levém pruhu stejnou rychlostí 80 km/h SUV Mercedes-Benz ML.

Pro účely experimentu je vytvořena situace, při které první vozidlo v levém pruhu prudce brzdí, a tak je také nucen brzdit proband s vozidlem z výhledu, aby odvrátil hrozící kolizi vozidel. Stejně tak brzdí i nákladní vozidla v pravém pruhu, aby nebylo možné při simulovaném manévru změnit směr. Je podstatné, aby k náhlé deceleraci prvního vozidla docházelo náhodně, a tak nebyla naměřená data zatížena chybou, kdyby proband počítal dopředu s tím,

že vozidlo bude brzdit. Z tohoto důvodu je nastaven algoritmus náhodného spuštění této situace, který je popsán v následující kapitole.



Obrázek 37: Vozidla ve scéně

6.2 Algoritmus aktivace brzdění

Na počátku spuštění scény je vygenerováno náhodné číslo v rozmezí 2 až 5, které udává, kolikrát musí být splněna podmínka, aby došlo k aktivaci brzdění vozidel. Tedy k začátku brzdného manévru a tím pádem i k aktivaci brzdových světel ostatních jedoucích vozidel, které jsou vidět z výhledu. Ke splnění podmínky dochází právě tehdy, když vozidlo z výhledu, které ovládá proband, je ve vzdálenosti 30 metrů od předního vozu a zároveň proband stojí na pedálu akceleratoru.

Tento princip algoritmu byl vytvořen z následujícího důvodu. Reakce probanda na deceleraci předchozího vozidla je měřena jako doba mezi přesunem z plynového pedálu na brzdový. Kdyby nebyla stanovena podmínka sešlápnutého plynového pedálu, mohly by nastat případy, u kterých by proband čekal na sešlápnutí brzdového pedálu v určitou chvíli, a tak by byla měřená reakční doba značně zkreslena. Takto zkreslené výsledky by potom nebylo možné mezi sebou vzájemně porovnat s reálnou vypovídající hodnotou reakční doby při náhlé situaci.

6.3 Vizualní bezpečnostní rozhraní

Byly zkonstruovány 4 druhy vizualních signálů, které varují řidiče druhého vozu (probanda) před tím, že dochází k intenzivnímu nouzovému brzdění prvního vozidla. Jednotlivá vizualní bezpečnostní rozhraní byla umístěna v zadní části následovaného vozidla.

6.3.1 Rozhraní 1

První vizuální bezpečnostní rozhraní je referenční. Jedná se o klasická LED brzdová světla (Obrázek 38). Tato světla se rozsvítí okamžitě, jakmile začne vozidlo decelerovat. V tomto případě byla použita doba náběhu LED technologie, jelikož doba náběhu vláknové žárovky je zhruba o 0,5 s pomalejší. Když uvažíme, že vozidlo v 80 km/h ujede za sekundu cca 22 metrů, tak již tato zanedbatelná časová veličina může znamenat 11 metrový rozdíl, který vozidlo projede bez brzdění.



Obrázek 38: Aktivovaná brzdová světla

6.3.2 Rozhraní 2

Druhým vizuálním bezpečnostním rozhraním jsou blikající brzdová světla (Obrázek 39). Tato světla mají dobu náběhu i intenzitu stejnou jako v prvním případě. Jediným rozdílem je blikání všech tří brzdových světel s frekvencí 2 Hz. Blikají tedy nejenom spodní segmenty zadních lamp, ale také třetí brzdové světlo umístěné uprostřed vrchní hrany zadního skla.



Obrázek 39: Blikající brzdová světla – stav rozsvíceno

6.3.3 Rozhraní 3

Dalším vizuálním bezpečnostním rozhraním je projekce na zadní sklo (Obrázek 40). Při deceleraci se společně se zadními brzdovými lampami rozsvítí velký výstražný trojúhelník na zadním skle. Tento piktogram byl zvolen jako nejlépe vyhovující v případě upozornění pro blížící se nebezpečí.



Obrázek 40: Projekce na zadní sklo

6.3.4 Rozhraní 4

Posledním vizuálním bezpečnostním rozhraním je kombinace referenčních brzdových světel s projekcí na vozovku (Obrázek 41). Na vozovce za vozem je tak promítán velký výstražný trojúhelník, který má rozměry 2 x 2 m.



Obrázek 41: Projekce na vozovku

6.4 Měřené veličiny

Aby bylo možné experiment správně vyhodnotit, je potřeba se zaměřit na správné měření veličin a jejich získání. Na základě přípravy experimentu byly definovány parametry, které jsou během simulace ukládány s frekvencí 100 Hz do textového souboru (Obrázek 42). V záznamu jízdy jsou poté v jednotlivých sloupcích uložena veškerá potřebná data pro vyhodnocení měření. Kvalitně navržený záznam dat umožňuje snadné vyhodnocení celého experimentu. V rámci tohoto experimentu jsou proto pro záznam ze simulace definovány tyto parametry.

Soubor	Úpravy	Formát	Zobrazení	Nánořevěda								
371.9	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
371.91	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
371.92	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
371.93	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
371.94	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
371.95	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
371.96	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
371.97	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
371.98	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
371.99	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.0	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.01	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.02	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.03	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.04	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.05	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.06	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.07	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.08	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.09	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.1	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.11	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.12	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.13	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.14	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.15	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.16	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.17	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.18	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.19	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.2	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.21	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.22	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.23	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.24	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				
372.25	-292.3055	122.2099	-433.8917	0	0	12.74119	True	1.589999				

Obrázek 42: Data měřeného experimentu

První pozice udává čas v sekundách od začátku spuštění simulace. Další tři pozice udávají polohu vozidla v souřadnicovém systému x, y, z. Následuje informace o akceleraci a deceleraci vozidla. Konkrétně je tato hodnota zaznamenána v rozptylu -1 až 1, kdy jedna znamená, že pedál akceleračního je sešlápnutý na maximum a -1 naopak značí plně sešlápnutý brzdový pedál. Stejně tak je zaznamenáváno, zda proband s vozidlem z výhledu otáčí volantem. Hodnoty rozptylu tohoto ukazatele jsou opět od -1 do 1, kdy 1 znamená plné zatočení doprava a -1 doleva. Dalším parametrem je bezpečnostní vzdálenost mezi prvním vozidlem v levém pruhu a vozidlem z výhledu. Předposlední hodnota ve sloupci zobrazuje, zda je spuštěn režim brzdění. V případě, že je režim brzdění aktivován, zobrazí se ve sloupci True. Pokud aktivován není, ve sloupci je zobrazeno False. Poslední sloupec byl navržen pro zjednodušení výpočtu reakčních dob. Do tohoto sloupce je ukládána reakční doba, která je vypočítána na základě

rozdílu doby spouštění režimu brzdění prvního vozu a okamžiku sešlápnutí brzdového pedálu probandem.

6.5 Omezení z důvodu epidemie Covid 19

Experiment byl primárně navržen pro testování na vozidlovém simulátoru. Z důvodu probíhající epidemie Covid 19 a s tím souvisejícími opatřeními, ale nebylo možné plnohodnotné měření na simulátoru provést. Bylo tedy rozhodnuto o změně, kterou bylo spuštění celé scény a testování reakční doby na PC. Vzhledem k faktu, že klávesnice nedovoluje takové rozpětí hodnot jako simulátor, bylo fakticky možné přesně měřit pouze reakční dobu probandů.

Plánované měření intenzity brzdění či měření vychýlení podélné osy při brzděném manévru je sice možné na klávesnici realizovat, ovšem vzhledem ke zjednodušenému ovládní vozidla na klávesnici nedávalo smysl. Klávesnice dovoluje pouze hodnoty -1, 0 a 1. V tomto případě dokážeme pouze zjistit, zda vozidlo z výhledu akceleruje či deceleruje, nejsme ale už ovšem schopni naměřit jakou intenzitou. To stejné platí i u směrového vedení vozidla.

Také reakční doba probanda se v tomto ohledu nemůže srovnat s reakční dobou, která by byla naměřena na simulátoru. Respektive část reakční doby probanda. Vzhledem k tomu, že reakční doba je členěna na více oblastí (viz. kapitola 4.3 Reakční doba), bude změnou prostředí experimentu ovlivněna pouze jedna část. Ovlivněnou částí bude svalová reakční doba. Časový údaj svalové reakce bude u probandů ovlivněn tím, že na simulátoru by musel proband přešlápnout z pedálu akcelerátoru na brzdový pedál jako v opravdovém vozidle. Kdežto při měření na PC se svalová reakční doba bude vztahovat na zmáčknutí kláves prstem na klávesnici.

Optická reakční doba, která se týká zaregistrování vizuálního rozhraní a také psychická reakční doba, budou nezměněny. Z tohoto důvodu bude měření relevantní a naměřené rozdíly reakčních dob budou odpovídat rozdílům, které by byly naměřeny na vozidlovém simulátoru nebo v reálném provozu. Pro hodnocení vlivu bezpečnosti bude především rozhodující zmíněný rozdíl reakčních dob mezi jednotlivými vizuálními komunikačními prvky.

Dalším pozitivem je nižší časová a prostorová náročnost měření, díky testování pomocí PC rozhraní. Vzhledem k této skutečnosti bylo možné navýšit počet testovaných probandů.

6.6 Průběh experimentu

Celý experiment s probandy probíhal bez přítomnosti autora. Autor se s probandy spojil online a zaslal připravenou aplikaci pro testování. Výsledky měření z aplikace se probandům zapsaly do textových dokumentů, které po dokončení měření zaslali zpět autorovi práce. V rámci tohoto experimentu autor provedl i krátké dotazníkové šetření, ve kterém se probandů ptal na preference systému a názor ohledně reálného zvýšení bezpečnosti na pozemních komunikacích při implementaci inovativního vizuálního rozhraní (Obrázek 43).

1. Jaké vizuální rozhraní je nejlépe postřehnutelné?

Seřadte prosím položky dle svých preferencí (1. - nejlépe postřehnutelné, 4. - nejhůře postřehnutelné)

- ◇ 1. Standardní brzdová světla
- ◇ 2. Blikající brzdová světla
- ◇ 3. Projekce na zadní sklo
- ◇ 4. Projekce na vozovku

2. Jaký je váš názor ohledně reálného zvýšení bezpečnosti na pozemních komunikacích při implementaci inovativního osvětlení? Navrhněte možné vylepšení.*

[Empty text input field]

Obrázek 43: Dotazník

Navržený experiment byl testován na 35 probandech. Experimentu se zúčastnilo 8 žen a 27 mužů. Nejmladší bylo 18 a nejstaršímu 58 let. Věkový průměr dobrovolníků byl 28 let. Jednalo se ve větší míře o lidi, kteří mají kladný vztah k automobilům. Probandi byli před experimentem srozuměni s tím, že se jim spustí scéna, ve které budou řídit vozidlo z výhledu. Dále jim bylo sděleno, že mají dodržovat pravidla silničního provozu a bezpečnou vzdálenost od ostatních vozidel. Každý proband měl jeden měřený pokus pro každé vizuální rozhraní, což znamená, že mu byla scéna spuštěna celkem 4 krát.

Aby nedocházelo k nepřesnostem a ovlivnění výsledků měření díky tomu, že vizuální rozhraní byla spouštěna stále ve stejném pořadí, byl vyhotoven jednoduchý rozpis měření (Obrázek 44). Tento rozpis ukazuje, v jakém pořadí byly scény s vizuálním bezpečnostním rozhraním jednotlivým probandům spuštěny. Zkratka F1 znamená první vizuální rozhraní, které představuje standardní brzdová světla, F2 představuje blikající brzdová světla, F3 potom projekci na zadní okno a F4 projekci na vozovku. Pro spuštění správného rozhraní stačilo probandovi stisknout při spuštění scény klávesu F1, F2, F3 nebo F4. Ovládání vozidla z výhledu bylo standardně na šípkách klávesnice.

Proband	Pořadí scén			
	1	2	3	4
1	F1	F2	F3	F4
2	F2	F3	F4	F1
3	F3	F4	F1	F2
4	F4	F1	F2	F3
5	F1	F2	F3	F4
6	F2	F3	F4	F1
7	F3	F4	F1	F2
8	F4	F1	F2	F3
9	F1	F2	F3	F4
10	F2	F3	F4	F1
11	F3	F4	F1	F2
12	F4	F1	F2	F3
13	F1	F2	F3	F4
14	F2	F3	F4	F1
15	F3	F4	F1	F2
16	F4	F1	F2	F3
17	F1	F2	F3	F4
18	F2	F3	F4	F1
19	F3	F4	F1	F2
20	F4	F1	F2	F3

Proband	Pořadí scén			
	1	2	3	4
21	F1	F2	F3	F4
22	F2	F3	F4	F1
23	F3	F4	F1	F2
24	F4	F1	F2	F3
25	F1	F2	F3	F4
26	F2	F3	F4	F1
27	F3	F4	F1	F2
28	F4	F1	F2	F3
29	F1	F2	F3	F4
30	F2	F3	F4	F1
31	F3	F4	F1	F2
32	F4	F1	F2	F3
33	F1	F2	F3	F4
34	F2	F3	F4	F1
35	F3	F4	F1	F2

Obrázek 44: Pořadí vizuálních rozhraní

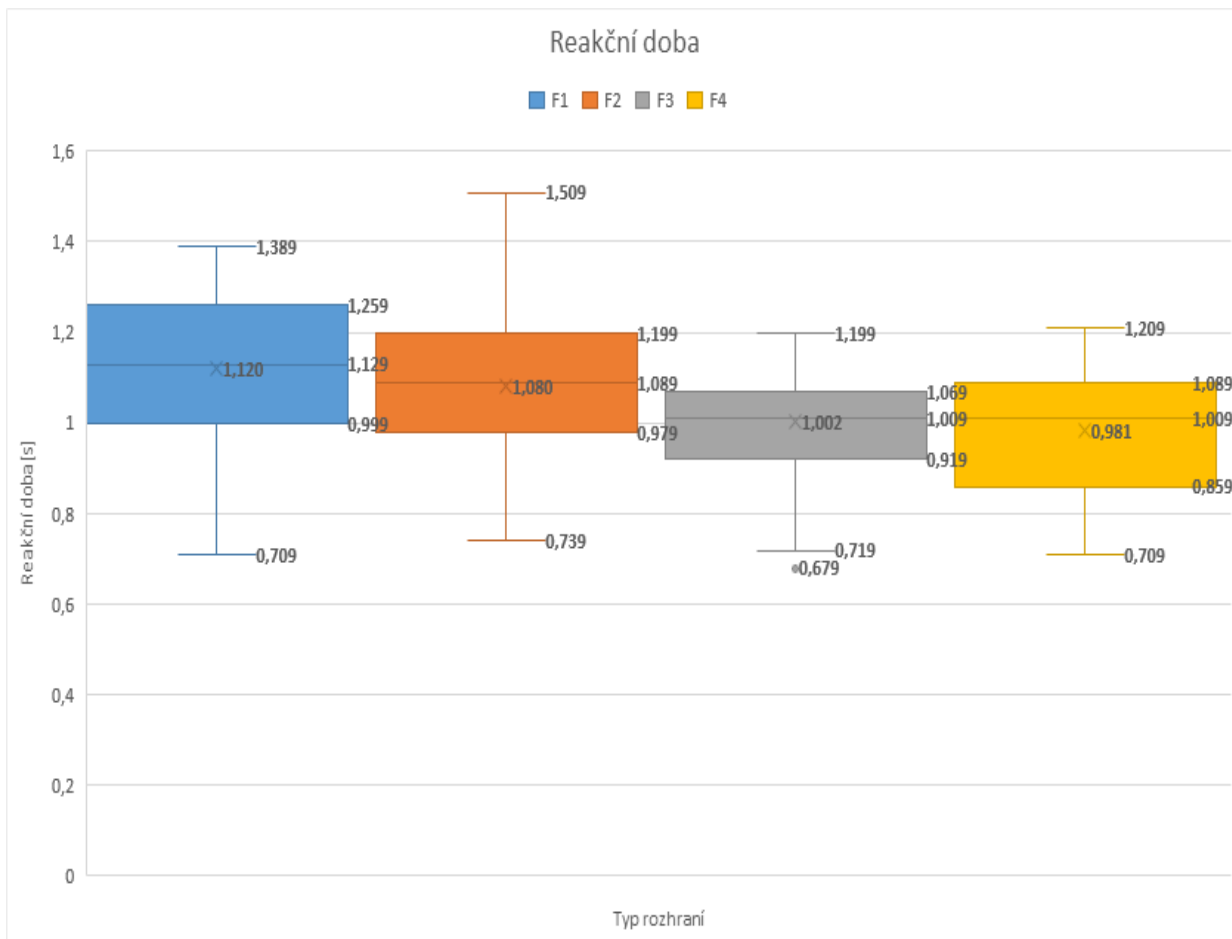
6.7 Výsledky

Na následujících stranách budou interpretovány veškeré výsledky, které byly naměřeny v rámci experimentu.

6.7.1 Výsledky reakčních dob

Při analýze reakční doby ze zaznamenaných dat během situace se dospělo k těmto výsledkům (Graf 1). Průměrně nejlepší reakční dobu vykazovalo rozhraní vizualizace na vozovku (F4) s hodnotou 0,98 s. Nejhorší reakční dobu mělo referenční rozhraní (F1), konkrétně 1,12 s. Rozdíl mezi průměrnou reakční dobou rozhraní vizualizace na vozovku, na které probandi reagovali dle výsledků nejrychleji a referenčním rozhraním, na které reagovali probandi nejpomaleji, je tedy v průměru 0,14 s.

I přesto, že se jedná o nepatrné snížení reakční doby, může mít výrazný vliv na zvýšení bezpečnosti v reálném provozu. Je dáno, že vozidlo jedoucí rychlostí 100 km/h ujede necelých 28 metrů za sekundu. Pokud vozidlo z této rychlosti zastaví před překážkou, totožné vozidlo jedoucí stejnou rychlostí, ve kterém řidič zareaguje o 0,14 s pomaleji, do překážky narazí rychlostí přibližně 22 km/h. Dle naměřených dat tedy všechny návrhy komunikačních rozhraní přispívají ke zkrácení doby reakce, a tím ke zvýšení bezpečnosti na pozemních komunikacích.



Graf 1 – Reakční doby jednotlivých měření

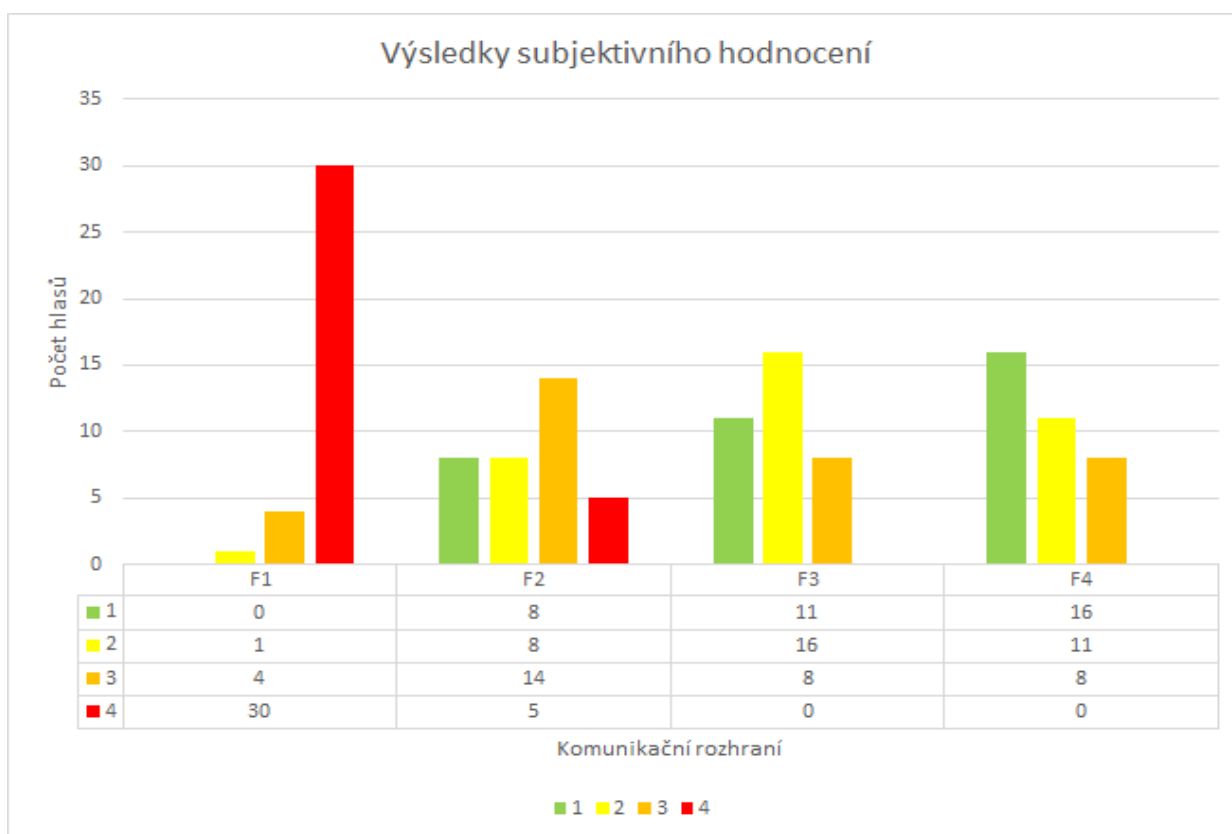
Největší rozptyl byl zaznamenán u rozhraní blikajících brzdových světel (F2). U tohoto rozhraní byla také naměřena nejdelší reakční doba 1,509 s. Velký rozptyl může být příčinou toho, že některým probandům připadalo blikající rozhraní dobře postřehnutelné. Naopak některými probandy nebylo rozhraní vzhledem k frekvenci blikání dobře pochopeno, a tak reagovali se zpožděním.

Z grafu jsou patrné také přibližně totožné hodnoty nejnižších reakčních dob u všech jednotlivých rozhraní. Z tohoto důvodu lze předpokládat, že návrh nového vizuálního komunikačního prvku může nejvíce pomoci nezkušeným řidičům, jelikož u zkušenějších řidičů se reakční doba u všech rozhraní pohybovala na stejných hodnotách. Zkušení řidiči totiž věnují

dostatečnou pozornost provozu a s ohledem na nenadálou situaci reagují většinou velice rychle. Nejlepší hodnota reakční doby byla naměřena u rozhraní projekce na zadní sklo (F3) a to 0,679 s.

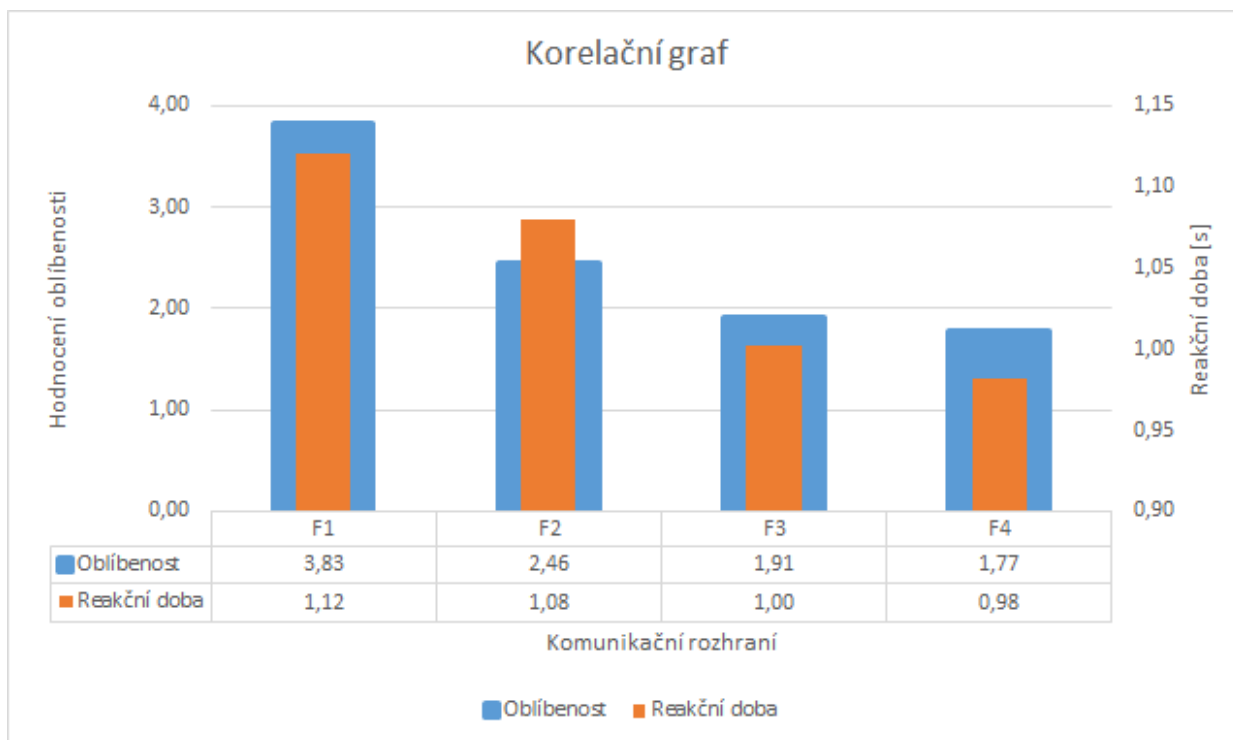
6.7.2 Výsledky dotazníkového šetření

Výsledky z dat vyplněných formulářů vypadají následovně (Graf 2). Probandi seřadili jednotlivá rozhraní na škále od 1 do 4. Nejhůře bylo hodnoceno referenční komunikační rozhraní (F1), které bylo nejčastěji zařazeno na poslední čtvrté místo. Probandy byla naopak nejlépe oceňována rozhraní projekce na zadní sklo (F3) a projekce na vozovku (F4), která uplatňují nové technologie upozornění. Tato rozhraní jsou tedy probandy nejlépe postřehnutelná, a to nejspíše díky promítání velkých obrazců s upozorňujícím piktogramem.



Graf 2 – Hodnocení bezpečnostních rozhraní dle přiřazeného pořadí

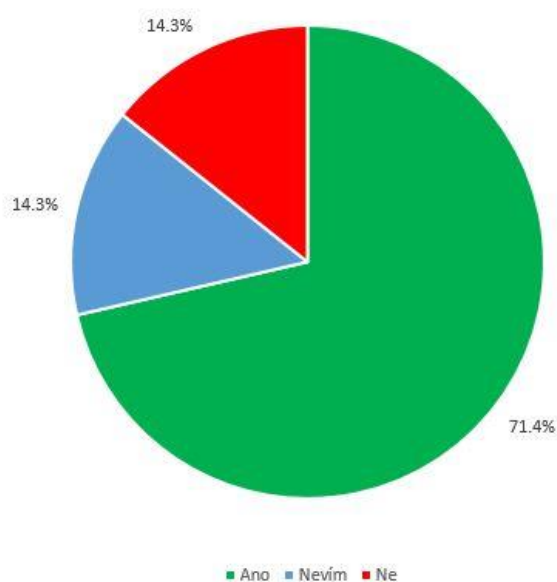
Po provedení korelace subjektivního (oblíbenost komunikace) a objektivního (reakční doba) hodnocení lze pozorovat, že dané parametry mezi sebou výrazně korelují (Graf 3). Probandi dle měření reakční doby nejrychleji reagovali na rozhraní projekce na vozovku (F4), a to se také umístilo na prvním místě z hlediska objektivního hodnocení. Totožně tak dopadlo srovnání reakční doby a preferencí probandů u všech rozhraní.



Graf 3 – Korelační graf průměrných hodnot reakčních dob a preferencí probandů

Následuje hodnocení celkového pohledu probandů na možné zlepšení situace na PK a připomínek v doplňující otázce (Graf 4). Celkem 5 probandů odpovědělo, že si nemyslí, že by implementace inovativního osvětlení reálně zvýšila bezpečnost na PK. Dalších 5 probandů odpovědělo, že neví, zda může inovativní osvětlení pomoci z hlediska bezpečnosti na PK. Zbýlých 25 probandů naopak věří, že implementace jednoho z navrhovaných rozhraní, by mohla zvýšit bezpečnost na PK.

Zvýší se bezpečnost na pozemních komunikacích při implementaci inovativního osvětlení?



Graf 4 – Celkové hodnocení možného zlepšení bezpečnosti na PK

6.7.3 Přípomínky ke komunikačním rozhraní

Probandi měli dále několik poznámek a navrhovaných vylepšení z hlediska odpovědi na doplňující otázku. Jedná se o jedny z nejdůležitějších dat, která mohou být použita k výraznému zlepšení systému vizuálního rozhraní.

V doplňující otázce se nejčastěji objevil dotaz na téma viditelnosti vizuálního rozhraní projekce na vozovku (F4), z hlediska osvětlení vozovky za denního světla. Tento dotaz zazněl od 9 probandů. Daný problém může být vyřešen tím, že bude světelný zdroj dostatečně silný k tomu, aby byl vidět na vozovce i za denních světlených podmínek. V případě, že nebude takto silný zdroj možno do zadní části vozu implementovat, je možné, aby bylo toto rozhraní používáno pouze za nočních, či zhoršených povětrnostních podmínek. V tomto případě bude ideální použití rozhraní projekce na vozovku, jako doplňujícího vizuálního prvku k jinému bezpečnostnímu vizuálnímu rozhraní.

Dále vzneslo 7 probandů dotaz na vizuální rozhraní projekce na zadní sklo (F3) z hlediska výhledu řidiče vozidla vzad. Je pravdou, že v případě zařazení takového zařízení do výroby by bylo nutné dbát na umožnění dostatečného výhledu vzad. V případě, že by se jednalo o transparentní promítací plochu, nebyl by v případě nefunkčního rozhraní pohled vzad omezen. Ovšem v případě rozsvíceného vizuálního rozhraní by mohl být výhled omezen zejména ve večerních hodinách, kdy by se mohlo promítané světlo či piktogram odrážet od zadního okna a omezovat tak pohled vzad. Možným řešením je přesun panelu vizuálního rozhraní na zadní část karoserie. Viditelnost z vozu opatřeným takovým zařízením by tak nebyla omezena. Ovšem implementace takového zařízení by znamenala značný zásah do designu vozů. Poškození takového vizuálního panelu jiným účastníkem provozu by se také jistě promítlo do ceny náhradních dílů, opravy či pojištění vozů.

Jeden proband měl návrh na zlepšení blikajícího rozhraní (F2). Konkrétně na frekvenci blikání. Proband navrhl úpravu, aby vozidlo blikalo vyšší frekvencí, tzn. rychleji. Dle probanda totiž při tomto pomalém blikání 2 Hz měl problém s tím, že si myslel, že řidič prvního vozidla pouze rychle sešlápl pedál brzdy a pokračoval dále v cestě nezměněnou rychlostí. Až druhé rozsvícení brzdových světel jej upozornilo na to, že se jedná o varování před nebezpečnou situací. V případě rychlejší frekvence blikání, by tento problém byl jistě eliminován. Tento získaný návrh na úpravu je velice cenný z hlediska návrhu vizuálních bezpečnostních rozhraní, která upozorňují na různá nebezpečí.

S ohledem k předchozímu bodu dále 8 probandů navrhovalo, aby rozhraní projekce na sklo (F3) a projekce na vozovku (F4) blikalo, jako druhé rozhraní (F2). Dle jejich názoru je blikající znamení lépe postřehnutelné oproti stále stejně svítícím světlometům. Také bylo zmíněno od

4 probandů, že rozhraní projekce na sklo (F3) z delší vzdálenosti vypadalo podobně jako referenční rozhraní (F1), respektive, že byl výstražný trojúhelník brán, jako větší třetí brzdomé světlo.

Vzdálenost je také dalším bodem, který byl při měření odhalen, respektive bylo odhaleno nedodržení bezpečnostní vzdálenosti od prvního jedoucího vozidla. 2 probandi totiž jeli u vozidel moc blízko, a tak se jim díky algoritmu, který hlídal kromě jiných parametrů, také parametr bezpečné vzdálenosti mezi vozidly, nepodařilo aktivovat scénu, kdy se aktivovala brzdomá sekvence. Bylo tedy prokazatelně odhaleno, že dodržování bezpečnostní vzdálenosti od vozidel není u některých řidičů dodržováno.

Z poznámek probandů a jednotlivých naměřených veličin je zřejmé, že pro co nejlepší vizuální bezpečnostní rozhraní by byla vhodná kombinace více druhů komunikace. Takové rozhraní by potom dokázalo zlepšit reakční dobu co nejširšímu okruhu řidičů ve všech povětrnostních a světelných podmínkách. Ideální kombinací se jeví využití rychlého blikání více jak 2 Hz, světelného panelu na karoserii, aby nedocházelo ke ztížení pohledu zadním oknem zpět a promítání na vozovku pro jízdu v nočních hodinách. Toto zařízení by také mohlo ukazovat na vozovku přibližnou bezpečnostní vzdálenost v poměru k jízdním parametrům za sebou jedoucích vozidel.

Byla také dokázána vhodnost provedení experimentu ve virtuálním prostředí. Při testování v reálných podmínkách by mohlo dojít při nedodržení bezpečné vzdálenosti ke kolizi vozů a možnému ohrožení probandů. I následné provedení změn bude v případě dalších pokusů možné relativně snadno a rychle implementovat do nového rozhraní, oproti experimentu, který by byl prováděn v reálném prostředí.

7 Závěr

V první části práce se autor věnoval uvedení do problematiky světlometů a prozkoumání aktuálních trendů v oblasti osvětlení automobilů ve spojení se zvýšením bezpečnosti na pozemních komunikacích. Byly popsány jednotlivé typy světelných zdrojů, různé technologie světlometů a nejmodernější adaptivní systémy, které jsou implementovány do současných vozidel. Dále bylo zmíněno téma nehodovosti na pozemních komunikacích. A to jak z hlediska bezpečného odstupu vozidel a popisu reakční doby řidičů, tak také z pohledu osvětlení vozidel, které může při správném využití zvýšit bezpečnost na pozemních komunikacích.

Cílem experimentu bylo prozkoumat, zda mohou mít různá vizuální komunikační rozhraní vozidel vliv na snížení reakční doby řidiče. Konkrétně byl zkoumán případ, kdy vozidla nouzově decelerují před tvořící se kolonou. V rámci experimentu byla testována čtyři komunikační rozhraní v simulovaném prostředí virtuální reality. Testování ve virtuálním prostředí bylo provedeno z důvodu bezpečnosti účastníků měření a legislativní odpovědnosti.

Experiment byl navržen pro vozidlový simulátor FD ČVUT, ovšem vzhledem k opatřením, které byly spojeny s epidemií Covid 19, byl tento experiment upraven, aby bylo možné provést měření i v podmínkách mimo budovu ČVUT. Měření bylo tedy upraveno tak, aby probandi mohli provádět experiment na vlastních PC, na které jim byla zaslána vytvořená aplikace.

Z důvodu přesunu průběhu experimentu na PC bylo zřejmé, že naměřené výsledky reakční doby nebudou odpovídat reakcím v simulátoru. Ovšem bylo přistoupeno k předpokladu, že se bude při změně prostředí lišit pouze část reakční doby, konkrétně reakční doba svalová. Tato reakční doba bude rozdílná z důvodu fyzicky odlišného pohybu nohou u pedálů simulátoru, oproti pohybu prstů po klávesnici. Optická i psychická reakční doba ovšem zůstane u měření na PC i ve vozidlovém simulátoru totožná. Díky tomuto předpokladu byly vyhodnoceny především rozdíly reakčních dob mezi jednotlivými vizuálními rozhraními.

Celkem byla každému probandovi spuštěna scéna čtyřikrát, jelikož byly zkoumány rozdílné reakce na čtyři různá rozhraní. Z výsledků experimentu vzešlo, že největší snížení reakční doby oproti referenčnímu systému je dosaženo pomocí rozhraní promítajícího výstražný trojúhelník na vozovku (Obrázek 45). Průměrný rozdíl reakční doby všech probandů mezi referenčním rozhraním a nejlépe hodnoceným vizuálním rozhraním byl 0,14 s.

Tento výsledek naznačuje, že pokud by k tomuto snížení reakční doby v reálném provozu došlo, znamenalo by výrazné zvýšení bezpečnosti. Vozidlo totiž při rychlosti 100 km/h ujede necelých 28 metrů za sekundu. Pokud vozidlo z této rychlosti zastaví před překážkou, totožné vozidlo jedoucí stejnou rychlostí, ve kterém řidič zareaguje o 0,14 s pomaleji, by do překážky

narazilo rychlostí přibližně 22 km/h. Tímto bylo tedy prokázáno zvýšení bezpečnosti vzhledem ke snížení reakční doby.



Obrázek 45: Nejlépe hodnocené vizuální komunikační rozhraní

V rámci tohoto experimentu bylo provedeno také dotazníkové šetření, díky kterému byla nasbírána další důležitá data. V tomto dotazníku každý z probandů seřadil rozhraní dle svých preferencí a v druhé doplňující otázce sdělil názor ohledně reálného zvýšení bezpečnosti na pozemních komunikacích při implementaci inovativního vizuálního rozhraní.

Z následného porovnání grafů objektivních parametrů (průměrné doby reakce) a subjektivních parametrů (preferenze komunikačního rozhraní) byla zřejmá korelace. Nejrychlejší průměrná reakční doba probandů byla zaznamenána při simulaci rozhraní projekce na vozovku. Toto rozhraní se také umístilo na prvním místě z hlediska preference probandů. Shoda mezi naměřenými reakčními dobami a hodnocením probandů panovala také u ostatních rozhraní.

V rámci diskuze s probandy byly však detekovány problémy a možné připomínky na zlepšení navržených vizuálních rozhraní. Bylo poukázáno na to, že vizuální rozhraní by sice mělo pro výraznější upoutání pohledu blikat, ovšem rychleji než stanovenou frekvencí 2 Hz. Dále byl navrhnout přesun jednoho bezpečnostního rozhraní ze zadního skla na karoserii vozu, z důvodu umožnění výhledu z vozu při spuštěném vizuálním signálu. Na poslední otázku dotazníku, zda by implementace jednoho z navrhovaných rozhraní mohla zvýšit bezpečnost na PK, většina (71,4 %) probandů odpověděla kladně. Všechny tyto podněty byly přijaty a byl promyšlen jejich možný přínos.

Z podnětů vyplynulo, že nejlepší možností vizuálního bezpečnostního rozhraní bude vhodná kombinace více druhů vizuálního signálu. Takové rozhraní by potom dokázalo zlepšit reakční dobu co nejširšímu okruhu řidičů ve všech povětrnostních i světlených podmínkách. Ideální kombinací se jeví využití rychlého blikání, světelného panelu na karoserii a promítání na vozovku pro jízdu v nočních hodinách.

Implementací těchto technologií by však mohlo dojít k výraznějšímu zvýšení bezpečnosti na PK. Například promítání obrazců na vozovku by mohlo funkčně pomoci ve vizuálním upozornění řidičů na dodržování bezpečné vzdálenosti.

Jelikož je problematika vizuálního bezpečnostního rozhraní vozidel komplikovaná a obsahuje další oblasti možného využití, lze tuto práci považovat za jeden ze základních pilířů problematiky osvětlení vozidel v závislosti na snížení reakční doby řidičů. Tato práce může být základem pro další výzkumy zaměřené na možnosti zvyšování bezpečnosti v dopravě pomocí vizuálních prvků.

Autor by chtěl do budoucna pokračovat v tomto výzkumu a uskutečnit další řadu experimentů. Tentokrát ovšem se zdokonaleným systémem vizuálního rozhraní a po ověření jeho funkčnosti ve virtuálním prostředí dále pokračovat na testy rozhraní v reálném provozu. Výsledky dalšího měření budou opět blíže k cestě implementace celého systému bezpečnostního vizuálního rozhraní do reálného provozu.

Autor věří, že má tato práce společně s uskutečněným experimentem reálný přínos. Vzhledem k naměřenému pozitivnímu trendu snížení reakční doby probandů na vizuální bezpečnostní rozhraní oproti referenčnímu, je velice pravděpodobné, že se podobné rozhraní v budoucnu stane standardním prvkem výbavy vozidel a pomůže snížit trend nehodovosti při dojíždění vozidel do kolon.

Použitá literatura

- [1] Lukáš Dittrich. IIHS: Světla aut se zlepšují, většina ale pořád svítí špatně. Za lepší musíte platit [online] 2018. [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/iihs-svetla-aut-se-zlepsuji-vetsina-porad-sviti-spatne-za-lepsi-musite-platit/>
- [2] Konec oslňování světly protijedoucích vozidel [online]. [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://infocube.cz/cs/konec-oslnovani-svetly-protijedoucich-vozidel/>
- [3] (EHK OSN) č. 48 Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK OSN) č. 48 – Jednotná ustanovení pro schvalování typu vozidel z hlediska montáže zařízení pro osvětlení a světelnou signalizaci [2016/1723] [online] 2016. [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=42016X1723>
- [4] Martina Procházková. Nehodovost v kolonách narostla o pětinu. Chybí značky a slušní řidiči [online] 2016. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/kolonanehody.A160905_140730_automoto_taj
- [5] What is the difference between cd/m2, lux and lumens? [online] 2019. [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://www.barco.com/en/support/knowledge-base/kb8243>
- [6] Martin Příbyl. Před 120 lety auta svítla svíčkami, dnes mají lasery. Podívejte se na vývoj světel [online] 2019. [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/pripomente-si-historii-vice-nez-120-let-automobilovych-svete/r~5485b0144ca211e98a200cc47ab5f122/>
- [7] Petr Slováček. Halogen vs. xenon vs. diody: Žárovky ještě nevymřely [online] 2014. [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/halogen-vs-xenon-vs-diody-zarovky-jeste-nevymrely-80531>
- [8] Světlo je pohyb Světelné zdroje pro automobily [online] 2015. [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://www.kvelektro.cz/wp-content/uploads/2015/11/autozarovky.pdf>
- [9] XENARC COOL BLUE INTENSE D2S [online] 2015. [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: https://www.osram.cz/ecat/XENARC%20COOL%20BLUE%20INTENSE-Automotive/cz/cs/GPS01_1056952/PP_EUROPE_CZ_eCat/ZMP_1021022/
- [10] XENARC COOL BLUE INTENSE [online]. [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: https://www.osram.cz/ecat/XENARC%20COOL%20BLUE%20INTENSE-Xenon-lighting-Automotive/cz/cs/GPS01_1056960_COOL_BLUE_INTENSE.pdf

- [11] David Bureš. Nový Hyundai Tucson oficiálně: Sází na designovou revoluci a sám vyparkuje [online] 2020. [cit.2020-10-19]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/novy-hyundai-tucson-oficialne-sazi-na-designovou-revoluci-a-sam-vyparkuje-136026>
- [12] Lukáš Vaverka. Žárovka, výbojka, diody a laser: Jak fungují různé typy světlometů [online] 2019. [cit. 2020-10-19]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/zarovka-vybojka-diody-laser-funguji-ruzne-typy-svetlometu/>
- [13] Marcel Janco. Osvetlenie vozidla, svetlomety a ich diagnostika. [online] 2012. [cit.2020-10-19]. Dostupné z: <http://www.autorubik.sk/clanky/osvetlenie-vozidla-svetlomety-a-ich-diagnostika/>
- [14] Historie a budoucnost osvětlení automobilů: Od svíčky k laseru. [online] 2014. [cit. 2020-10-19]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/historie-a-budoucnost-osvetleni-automobilu-od-svicky-k-laseru-79316>
- [15] Technologie osvětlení: První vůz ŠKODA s full LED matrixovými světlomety [online] 2019. [cit. 2020-10-19]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-mapy/skoda-superb-tiskova-mapa/technologie-osvetleni-prvni-vuz-skoda-s-full-led-matrixovymi-svetlomety/>
- [16] CES Innovation Award for Koito BladeScan ADB [online] 2019. [cit. 2020-10-20]. Dostupné z: <https://www.drivingvisionnews.com/ces-innovation-award-for-koito-bladescan-adb/>
- [17] Koito's BladeScan is Very Good, Still Faces Challenges [online] 2020. [cit. 2020-10-20]. Dostupné z: <https://www.drivingvisionnews.com/koitos-bladescan-is-very-good-still-faces-challenges/>
- [18] Filip Suchomel. Lepší viditelnost chodce díky inovativním světlometům [online] 2019. [cit. 2020-10-20]. Dostupné z: <https://autodays.cz/2019/07/27/lepsi-viditelnost-chodce-diky-inovativnim-svetlometum/>
- [19] Audi e-tron Sportback otvírá novou kapitolu ve vývoji osvětlení digitálními světlomety Matrix LED [online] 2020. [cit. 2020-10-20]. Dostupné z: <https://www.audi.cz/o-nas/audi-novinky/3898-audi-e-tron-sportback-otvira-novou-kapitolu-ve-vyvoji-osvetleni-digitalnimisvetlometymatrixl?fbclid=IwAR1APFWOfnJCqWqut1zc6MidBYaICUm9bcNF1ZR35HotLa8HgUrrOOExs8>

- [20] DIGITAL LIGHT. The light of the future hits the road [online]. [cit. 2020-10-21]. Dostupné z: <https://www.daimler.com/innovation/specials/geneva-2018/digital-light.html>
- [21] Digital Light: Millions of Pixels on the Road [online] 2018. [cit. 2020-10-21]. Dostupné z: <https://www.al-lighting.com/news/article/digital-light-millions-of-pixels-on-the-road/>
- [22] "DIGITAL LIGHT": Headlamps in HD quality [online]. [cit. 2020-10-21]. Dostupné z: <https://www.mercedes-benz.com/en/innovation/vehicle-development/digital-light-headlamps-in-hd-quality/>
- [23] Jan Černý. Nový interiér Mercedesu S-Class vás dostane do kolen [online] 2020. [cit. 2020-10-22]. Dostupné z: https://carsmag.cz/novy-interier-mercedesu-s-class-vas-dostanedokolen/?utm_source=www.seznam.cz&utm_medium=sekcezinternetu#dop_ab_variant=0&dop_req_id=wz1RCleD40D202008241207&dop_source_zone_name=hpfeed.sznhp.box
- [24] Milan Lažanský. Volkswagen nám ukázal budoucnost světel. Podívejte se, co nás čeká [online] 2018. [cit. 2020-10-22]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/volkswagen-nam-ukazal-budoucnost-svetel-podivejte-se-co-vsechno-nas-ceka#part=1>
- [25] Lukáš Dittrich. IIHS: Světla aut se zlepšují, většina ale pořád svítí špatně. Za lepší musíte platit [online] 2018. [cit. 2020-10-23]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/iihs-svetla-aut-se-zlepsuji-vetsina-porad-sviti-spatne-za-lepsi-musite-platit/>
- [26] Martina Procházková. Nehodovost v kolonách narostla o pětinu. Chybí značky a slušní řidiči [online] 2016. [cit. 2020-10-24]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/kolonanehody.A160905_140730_automoto_taj
- [27] Doc. Ing. Jindřich ŠACHL, CSc, RNDr. Ing. Jindřich ŠACHL, Ph.D., Ing. Drahomír SCHMIDT, Ph.D., Ing. Tomáš MIČUNEK, Ph.D., Ing. Michal FRYDRÝN. ANALÝZA NEHOD V SILNIČNÍM PROVOZU [online] 2010. [cit. 2020-10-25]. Dostupné z: <https://www.fd.cvut.cz/projects/k622x1a/lecture/Analyza%20nehod%20v%20silnicnim%20provozu.pdf>
- [28] Let there be light! [online] 2018. [cit. 2020-10-25]. Dostupné z: <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/stories/let-there-be-light-4255>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Testovací laboratoř Varroc Lighthouse Systems (zdroj: https://autoroad.cz).....	8
Obrázek 2: Mercedes-Benz Digital Light (zdroj: https://www.topspeed.com)	9
Obrázek 3: Inovativní zadní světla (zdroj: https://www.motorauthority.com)	10
Obrázek 4: Vizualizace jednotek (zdroj: https://www.barco.com)	11
Obrázek 5: Opel Patent Motor Wagen (zdroj: https://zpravy.aktualne.cz)	12
Obrázek 6: Halogenová žárovka H1 (zdroj: https://www.obautodily.cz)	13
Obrázek 7: Xenonová výbojka D2S (zdroj: https://www.obautodily.cz)	14
Obrázek 8: Hyundai Tuscon 2020 (zdroj: http://www.auto.cz)	16
Obrázek 9: Dálkové LED (vlevo) vs. laser (vpravo) (zdroj: http://autobible.euro.cz)	17
Obrázek 10: Režimy světleného kužele (zdroj: https://pravnicaradce.ihned.cz)	18
Obrázek 11: Funkce natáčení světlometů (zdroj: https://www.mein-autolexikon.de)	19
Obrázek 12: Funkce dynamického vykrývání (zdroj: https://www.autorevue.cz).....	20
Obrázek 13: Kamera snímající prostor před vozem (zdroj: https://autodays.cz)	20
Obrázek 14: Systém BladeScan (zdroj: https://www.drivingvisionnews.com)	21
Obrázek 15: Princip systému BladeScan (zdroj: https://www.drivingvisionnews.com)	22
Obrázek 16: Audi e-tron LED (zdroj: https://www.wheelsjoint.com).....	22
Obrázek 17: Světelné zvýraznění jízdního pruhu (zdroj: https://www.quattrodaily.com)..	23
Obrázek 18: Detekce nebezpečí (zdroj: https://www.carscoops.com).....	24
Obrázek 19: Digital light (zdroj: https://www.al-lighting.com)	25
Obrázek 20: Projekce přechodu pro chodce (zdroj: https://www.mercedes-benz.com) ...	27
Obrázek 21: Označení jízdního pruhu (zdroj: https://www.mercedes-benz.com).....	27
Obrázek 22: LED interiér Mercedes Benz (zdroj: https://carsmag.cz)	28
Obrázek 23: LED indikace interiéru Mercedes Benz (zdroj: https://youtube.com)	29
Obrázek 24: Zadní LED krystaly (zdroj: https://www.mazdaledosvetleni.cz).....	29
Obrázek 25: Individualizace zadních světlometů (zdroj: https://www.autorevue.cz)	30
Obrázek 26: VW Touareg LED parkovací asistent (zdroj: https://www.autorevue.cz)	31
Obrázek 27: Vizualizace dynamiky brzdění (zdroj: https://www.autorevue.cz).....	31

Obrázek 28: Výsledky testování v jednotlivých letech (zdroj: https://www.iihs.org).....	32
Obrázek 29: Porovnání základních a příplatkových světel (zdroj: https://www.iihs.org) ..	33
Obrázek 30: Porovnání světlometů Mazda3 2020	34
Obrázek 31: Jednotná dopravní vektorová mapa.....	35
Obrázek 32: Rychlost nárazu vzhledem k opožděnému počátku brzdění (//fd.cvut.cz) ...	36
Obrázek 33: Upozornění před kolonou (zdroj: https://www.volkswagen-newsroom.com)	37
Obrázek 34: Experiment v reálném prostředí	38
Obrázek 35: Pohled z vozidlového simulátoru (zdroj: https://www.zelpage.cz).....	39
Obrázek 36: Zobrazení scény	40
Obrázek 37: Vozidla ve scéně	41
Obrázek 38: Aktivovaná brzdová světla.....	42
Obrázek 39: Blikající brzdová světla – stav rozsvíceno	42
Obrázek 40: Projekce na zadní sklo	43
Obrázek 41: Projekce na vozovku	43
Obrázek 42: Data měřeného experimentu.....	44
Obrázek 43: Dotazník.....	46
Obrázek 44: Pořadí vizuálních rozhraní.....	47
Obrázek 45: Nejlépe hodnocené vizuální komunikační rozhraní	54

Všechny obrázky, které nemají uvedený zdroj, byly vytvořeny autorem práce.