

Metodika pro posuzování oslnění světlometry osobních automobilů z hlediska řidičů

L. Viktorová
L. Stanke
V. Hamerníková
M. Šucha



Filozofická
fakulta

Univerzita Palackého
v Olomouci



KATEDRA
PSYCHOLOGIE
UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Human **Light**
Interaction Laboratory

Univerzita Palackého v Olomouci

Filozofická fakulta

**Metodika pro posuzování oslnění světlometry osobních
automobilů z hlediska řidičů**

Lucie Viktorová

Ladislav Stanke

Veronika Hamerníková

Matúš Šucha

Olomouc

2022

Oponenti:

Doc. Ing. Martin Augustynek, Ph.D., Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství, 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba; martin.augustynek@vsb.cz

Mgr. Darina Havlíčková, Ph.D., Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., Líšeňská 33a, 636 00 Brno; darina.havlickova@cdv.cz

Ing. Jaromír Křepelka, CSc., Společná laboratoř optiky Univerzity Palackého a Fyzikálního ústavu Akademie věd České republiky, 17. listopadu 50A, 772 07 Olomouc; jaromir.krepelka@upol.cz

Doc. RNDr. František Pluháček, Ph.D., Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, 17. listopadu 12, 771 46 Olomouc; frantisek.pluhacek@upol.cz

Metodika byla certifikována osvědčením Ministerstva dopravy č. j. MD-7555/2022-710/4 ze dne 26. 5. 2022.

Tato metodika byla vytvořena se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu TAČR ÉTA 2, projekt č. TL02000183 „Člověk a bezpečnost v dopravě v souvislosti s rozvojem světelných technologií“.

Neoprávněné užití tohoto díla je porušením autorských práv a může zakládat občanskoprávní, správněprávní, popř. trestněprávní odpovědnost.

1. vydání

© Veronika Hamerníková, Lucie Viktorová, Ladislav Stanke, Matúš Šucha, 2022

© Univerzita Palackého v Olomouci, 2022

DOI: 10.5507/ff.22.24461311

ISBN 978-80-244-6131-1 (online: iPDF)

Obsah

Úvod	5
1. Cíl metodiky	6
2. Popis uplatnění metodiky	7
3. Teoretická východiska	8
3.1 Zrakový systém a zrakové vnímání	8
3.1.1 Oko	8
3.1.2 Vnímání světla a barev	10
3.1.3 Vyšetření zrakového vnímání a jeho vybraných složek	13
3.2 Oslnění a reakce řidičů na ně	15
3.2.1 Měření oslnění	16
3.2.2 Reakce řidičů na oslnění	19
3.3 Světelné zdroje v automobilových světlometech	20
4. Metodická část	25
4.1 Vstupní charakteristiky řidiče a jejich zjišťování	25
4.2 Prostory a vybavení k laboratorní simulaci oslnění v nočním provozu a sledování reakcí řidiče na oslnění	29
4.3 Sledované reakce řidičů na oslnění	37
4.3.1 Změny ve zrakové ostrosti a kontrastní citlivosti	37
4.3.2 Změny v kožní vodivosti	38
4.3.3 Změny v srdeční frekvenci	41
4.3.4 Změny v dechové frekvenci	42
4.3.5 Frekvence mrkání	43
4.3.6 Subjektivní hodnocení ne/příjemnosti oslnění	45
4.4 Modelový postup testování a design experimentu	46
5. Vyjádření k novosti postupů	52
6. Ekonomické aspekty	54
7. Seznam použité související literatury	55
8. Seznam publikací, které předcházely metodice/Výstupy z originální práce	61
Anotace	63
Annotation	64
Seznam obrázků	65
Zdroje k obrazové dokumentaci	66

Úvod

„Vidět, být viděn, ale neoslňt“ – tak by se daly shrnout zásady bezpečného používání předních světlometů v osobních automobilech. Přestože z hlediska fyzikálně-technických parametrů již na evropské i světové úrovni existují normy, které konstrukci a používání automobilových světlometů upravují, problematika oslnění v automobilové dopravě z hlediska zrakového vnímání řidičů je stále přetrvávajícím předmětem diskuzí.

Oslnění je nežádoucí jev, kdy jsou naše oči přesyceny světlem a nedokáží se na něj v danou chvíli plně adaptovat. K oslnění přitom může docházet nejen na noční vozovce, ale také např. při jízdě proti slunci, které je blízko nad horizontem, nebo při výjezdu z tunelu za jasného dne. Typickou reakcí je odvrácení zraku, přivření očí nebo mrkání; tedy chování, při kterém ztratíme vizuální kontakt s prostředím.

A právě ztráta vizuálního kontaktu může vést k potenciálně nebezpečným dopravním situacím. V lepším případě se tak stane jen na několik sekund, v horším případě trvá i v řádu minut, než je člověk schopen se zpátky adaptovat na převládající světelné podmínky. I několik sekund však může v dopravě rozhodnout o tom, zda zareagujeme včas a odvrátíme nebezpečnou situaci, nebo se nám nepovede vyhnout se jí.

Za tímto účelem předkládáme metodiku pro výzkum hodnocení světelných parametrů předních světlometů osobních automobilů z hlediska zrakového vnímání a vizuálního komfortu řidičů. Jejím prostřednictvím chceme poskytnout výrobcům automobilů a automobilových světlometů nástroj pro hodnocení různých zdrojů světla v předních světlometech z hlediska jejich dopadu na psychofyziologii a subjektivní vnímání řidiče.

1. Cíl metodiky

Metodika reflektuje poznatky získané v rámci řešení projektu TAČR ÉTA 2 č. TL02000183, jehož cílem bylo zanalyzovat proces adaptace člověka-řidiče a jeho zrakového vnímání na nové druhy světelných zdrojů, např. elektroluminiscenční diody (LED), a to zejména z hlediska dopravní bezpečnosti a ergonomie (HMI – interakce člověk-stroj, UX - User Experience). Jejím cílem je podat základní přehled o zrakovém vnímání řidiče a jeho možných reakcích na oslnění a popsat metody a způsoby, jakými lze zjišťovat reakce řidiče na oslnění různými světelnými zdroji použitými ve světlometech osobních automobilů v laboratorních podmínkách. Systematickým zahrnutím subjektivního pohledu řidiče do vývoje automobilových světlometů miní metodika přispět ke zvýšení dopravní bezpečnosti v silničním provozu.

2. Popis uplatnění metodiky

Metodika je určena výrobcům osobních automobilů, OEM výrobcům světlometů pro osobní automobily a vývojářům světelných systémů v automotive, kteří mají zájem skrze výzkum uživatelské zkušenosti (UX) dále optimalizovat světelné parametry jimi vyvíjených produktů, a tím přispívat ke zvýšení dopravní bezpečnosti. Popisuje základní potřebné vybavení a technické parametry laboratoře uzpůsobené pro výzkum oslnění v silniční dopravě, jakož i základní proměnné, na které by se měl takový výzkum zaměřit. Tím je využitelná nejen v oblasti aplikovaného výzkumu a vývoje (R&D) v automotive, ale také pro základní výzkum v oblasti vizuálního vnímání a vision science v akademické sféře. V takovém případě lze navrhované metody a postupy dále modifikovat či doplnit o další proměnné a přístroje k jejich zjišťování tak, aby umožnily zodpovědět specifické související otázky.

3. Teoretická východiska

Pro porozumění problematice oslnění a jejímu vlivu na bezpečnost dopravy, resp. chování řidiče, je potřeba nejprve objasnit několik základních pojmů a mechanismů, a to:

- fyziologii zrakového vnímání,
- mechanismus vzniku oslnění a běžné reakce řidičů na něj, a
- charakteristiky světelných zdrojů používaných v automobilových světlometech.

3.1 Zrakový systém a zrakové vnímání

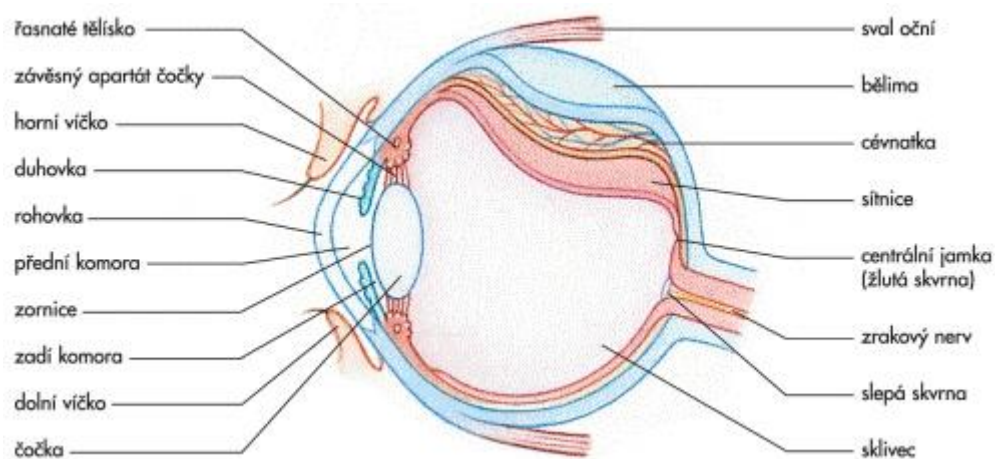
Zrakový systém se skládá z oka, optických drah a zrakových oblastí mozku. Zrakový vjem prochází nejdříve optickým aparátem oka, odkud následuje optická dráha složená z axonů gangliových buněk, jejichž prostřednictvím jsou nervové impulsy následně vedeny do zrakové kůry v týlním mozkovém laloku (Kulišťák a kol., 2017).

3.1.1 Oko

Oko, nebo přesněji *oční bulbus*, se skládá ze tří očních obalů: Zevní obal tvoří průhledná část zvaná rohovka a zadní neprůhledná část – bělma. Ve střední části bulbu je tzv. žlínatka, jejímiž součástmi jsou cévnatka, řasnaté tělísko a duhovka. Vnitřní obal je tvořen pigmentovou vrstvou a sítnicí. Uvnitř oka je čočka, sklivec a komorová voda (Synek & Skorkovská, 2014). Je nutné si uvědomit, že tyto součásti tvoří specifické optické prostředí, jímž prochází světlo, a sehrávají tak důležitou roli při zrakovém vnímání:

- *Rohovka* má za úkol nasměrovat a lámat světlo na sítnici. Při podráždění rohovky dochází k mrkání a slzení. Její poškození (např. zjizvení vlivem úrazu) vede ke snížení zrakové ostrosti a kontrastní citlivosti, a také ke zvýšení rizika oslnění (Hubel, 1995). Na povrchu rohovky se nachází *slzný film*, který zajišťuje hladký a pravidelný povrch oka. Rychlé vysychání slzného filmu může vést k pocitu pálení očí a potenciálně zhoršenému vidění (Pašta a kol., 2017).
- *Čočka* se spolupodílí na zaostřování oka na objekty v různé vzdálenosti; tloušťka čočky se mění s věkem. Při zaostřování na dálku dochází k jejímu zploštění, při zaostřování na blízko se naopak vyklenuje. Tento jev se nazývá akomodace (Hubel, 1995). Poruchami akomodace jsou např. krátkozrakost a dalekozrakost; jejich korekci umožňují poměrně dobře dioptrické brýle či čočky. K poklesu akomodační šíře však dochází i přirozeně s přibývajícím věkem (tzv. vetchozrakost) (Pašta a kol., 2017), nebo při nízkém jasu v prostředí i u zdravých osob (Khan et al., 2014).

- *Zornice* je umístěna ve středu duhovky. Ovládají ji dva hladké svaly. Její velikost je ovlivněna mj. množstvím světla, které na oko v danou chvíli působí. Pokud je aktuálně působící zdroj světla silný, zornice se chrání před oslněním a zužuje se. Při nedostatku světla se zornice naopak rozšiřuje. Průměr zornice se také mění při zaostřování mezi blízkým a vzdáleným předmětem, v reakci na bolestivý podnět, vlivem emocí, užitím některých farmak a návykových látek aj. Pigment duhovky určuje barvu očí a zároveň do určité míry chrání oko před oslněním (Pašta a kol., 2017).
- *Sítnice* vystýlá dutinu oční koule až k duhovce. Pomocí fotochemického procesu přeměňuje světlo v elektrické impulzy, které jsou pak vedeny dále do mozku (Holmes, 2018). Pigmentová vrstva sítnice spolu s cévnatkou slouží jako izolant a brání rozptylu světla v oční kouli. Vnitřní vrstva sítnice obsahuje fotoreceptory a neurony, které informace z oka převádějí prostřednictvím zrakového nervu do mozku (Jones, 2021). U vstupu zrakového nervu do sítnice se fotoreceptory nenacházejí, toto místo se nazývá *slepou skvrnou*. Naopak místo, kde je soustředěno nejvíce čípků a je oblastí nejostřejšího vidění, se nazývá *žlutá skvrna*. Dopadá sem zrakový vjem z obrazu, na který se člověk dívá zpřímá (Synek & Skorkovská, 2014).



Obr. 1: Oko

Zdroj: <https://leporelo.info/oko-1>

Proces vidění začíná podrážděním smyslových buněk na sítnici – tzv. *tyčinek* a *čípků*. Tyčinky a čípky jsou v sítnici rozloženy nerovnoměrně (Holmes, 2018). Čím více se od žluté skvrny vzdalujeme, tím čípků ubývá a přibývá tyčinek. Čípků je okolo 5 milionů a slouží ke vnímání barev. Jsou zodpovědné za *fotopické* vidění. Mají za úkol rozeznat intenzitu a barvu světla a jas obrazu (Synek & Skorkovská, 2014). Rozlišujeme tři typy čípků, a to S, M a L. Čípky

S jsou citlivé na modrou barvu a reagují na krátkou vlnovou délku. Čípky M jsou citlivé na zelenou barvu a reagují na střední vlnovou délku. Čípky L jsou citlivé na červenou barvu a reagují na dlouhou vlnovou délku (Khan et al., 2014).

Tyčinek je zhruba 130 milionů. Jsou zodpovědné za *skotopické* vidění, umožňují nám rozeznávat světlo a tmu. Jsou schopné zachytit i světlo o nízké intenzitě. Toto noční vidění je však provázeno sníženou zrakovou ostrostí a nedostatečnou schopností přesné fixace (Holmes, 2018).

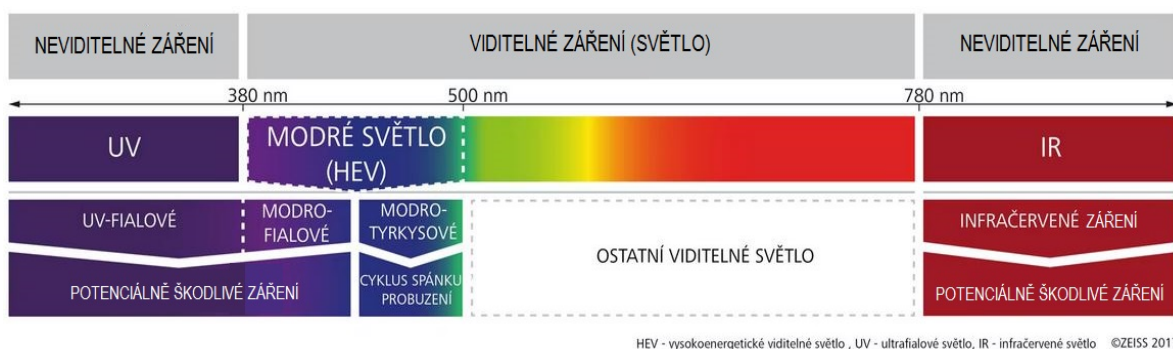
V životě se často musíme přizpůsobovat jasům různé intenzity, které se mohou nacházet na pomezí skotopického a ftopického vidění, v oblasti tzv. *mezopického* vidění. Jsou při něm aktivovány čípky i tyčinky (Habel et al., 2013). Při mezopickém vidění se nám viděný obraz jeví tmavší, protože nerozeznáváme dokonale barevné signály (Barbur & Stockman, 2010).

Dalšími důležitými buňkami v sítnici oka jsou tzv. *gangliové buňky*. Jedná se o typ neuronových buněk. Rozlišujeme gangliové buňky typu M a P. Buňky typu M reagují na pohyb a potřebujeme je k prostorovému vidění. Buňky P nám umožňují odlišovat barvu, tvar a strukturu (Osičková, 2014). Kromě toho se na sítnici nacházejí také tzv. vnitřně fotosenzitivní gangliové buňky, které se podílejí na řízení cirkadiánního rytmu a zornicového reflexu. Ty jsou citlivé především na modrou složku světla (Skorkovská & Skorkovská, 2015). Tyto buňky jsou propojeny s dalšími oblastmi v mozku nesouvisejícími s vizuálními funkcemi a jejich další vliv na člověka je předmětem aktuálního vědeckého zkoumání.

3.1.2 Vnímání světla a barev

Pro uvedení do problematiky vnímání světla je třeba vysvětlit si několik pojmů:

Část elektromagnetického spektra, kterou můžeme vidět lidským okem, se nazývá spektrum viditelného světla (*viditelné světlo*). Standardně lidské oko detekuje světlo o vlnové délce v rozsahu 380–700 nanometrů. Záření, které je těsně pod hranicí 380 nm, se nazývá ultrafialové. Záření těsně nad hranicí 780 nm se nazývá infračervené (viz obr. 2). Detekci viditelného záření v oku zajišťují tyčinky, čípky a vnitřně fotosenzitivní gangliové buňky sítnice, přičemž poslední jmenované nepřispívají k tvorbě obrazu, tedy vizuálního vjemu (Sedláček, 2016).



Obr. 2: Světelné spektrum

Zdroj: <https://www.zeiss.cz/vision-care/lepsi-videni/pochopeni-zraku/jak-funguje-barevne-videni.html>, upraveno autory

V rámci viditelného světla lze také rozlišovat různé barvy, odpovídající různým vlnovým délkám světelného záření. Vnímané barvy přitom mají prokazatelný vliv na naši psychiku i celkovou výkonnost. Bylo zjištěno, že puls i dýchání řidiče (a vlastně jakéhokoli člověka) lze ovlivnit předloženou barvou (Qin et al., 2020). Je také nutné zdůraznit, že to, co vnímáme jako „bílou“ barvu, resp. „bílé světlo“, je v podstatě složením světelného záření o různých vlnových délkách (Habel et al., 2013).

Barva	Vlnová délka	Frekvence
červená	~ 625 až 740 nm	~ 480 až 405 THz
oranžová	~ 590 až 625 nm	~ 510 až 480 THz
žlutá	~ 565 až 590 nm	~ 530 až 510 THz
zelená	~ 520 až 565 nm	~ 580 až 530 THz
azurová	~ 500 až 520 nm	~ 600 až 580 THz
modrá	~ 430 až 500 nm	~ 700 až 600 THz
fialová	~ 380 až 430 nm	~ 790 až 700 THz

Obr. 3: Vnímání barev

Zdroj: <https://www.mikroskop-mikroskopy.cz/vicebarevne-osvetleni/>

Zde je potřeba si uvědomit, že evolučně je člověk zvyklý především na svit Slunce, jenž se vyznačuje převahou záření v červené části spektra – obzvláště pak v odpoledních hodinách – přičemž modrá složka je nejvíce zastoupena v poledne (Lystrup, 2017). Tento mechanismus je prostřednictvím vnitřně fotosenzitivních gangliových buněk v oku propojen s regulací cyklu spánku a bdění (tzv. cirkadiánním rytmem), jenž může být narušen např. používáním zdrojů s vysokým podílem modré složky světelného spektra ve večerních hodinách (Ohta et al., 2006).

Každé barvě (nebo lépe vlnové délce) také odpovídá jiný index lomu prostředí, kterým paprsek o této barvě prochází jednotlivými optickými rozhraními v oku. To vede k tomu, že paprsky různých barev jsou v prostředí oka lomeny pod jinými úhly. V důsledku toho vznikají senzorické klamy, při kterých se nám některé předměty nebo vozidla mohou jevit blíže či dále, než je tomu ve skutečnosti. Typicky se nám vozidla červené, hnědé nebo zlaté barvy jeví blíže, zelená a modrá naopak dále. Roli také hraje kontrast pozadí. Na tmavém pozadí se nám světlé předměty jeví blíže, na světlém pozadí (kupř. za denního světla) vidíme blíže předměty tmavé barvy (Shin, & Lee, 2013).

Z hlediska vnímání světla jako celku je dále nutné rozlišovat následující fyzikální veličiny:

- *Světelný tok* – vystihuje množství světla za jednotku času. Jedná se o výkon světla přepočtený s ohledem na citlivost lidského oka. Jeho jednotkou je lumen (lm).
- *Svítivost* – vyjadřuje rozdělení světelného toku vyzářeného bodovým zdrojem světla do různých směrů. Jednotkou svítivosti je kandela (cd). Můžeme si ji představit jako množství světelného toku do jednotkového prostorového úhlu.
- *Jas* – měrná veličina svítivosti charakterizující plošné zdroje, jednotkou je cd/m^2 . Odborníci navrhují, aby byl z hlediska bezpečnosti dopravního provozu při osvětlení silnic respektován jas 1–2 cd/m^2 (Ransen, 2017).
- *Intenzita osvětlení* (osvětlenost/osvětlivost) – světelný tok dopadající na jednotku plochy. Je podílem světelného toku (v lumenech) a plochy (v metrech čtverečních). Jednotkou intenzity osvětlení je lux (lx). Jestliže tedy na plochu o velikosti 1 m^2 rovnoměrně dopadá světelný tok o hodnotě 1 lumen, je osvětlena jedním luxem (Habel et al., 2013; Sedláček, 2016).

Při diskuzi problematiky osvětlení a zrakového vnímání v kontextu silničního provozu je také potřeba znát zákonitosti zrakové adaptace na světlo a tmu, potažmo i barvu:

- *Adaptace očí na světlo* probíhá nejrychleji, trvá průměrně jednu minutu. Zdravé oko se plně přizpůsobí působícímu osvětlení nejpozději do deseti minut. Při prudkém přechodu ze tmy do světla však může krátkodobě dojít k oslepení, způsobeného rozpadem fotopigmentů na sítnici (Habel et al., 2013).
- *Adaptace na tmu* je pomalejší. Nejdříve dochází k přizpůsobení čípků, následně se zvyšuje citlivost tyčinek. Délka adaptace na tmu závisí na výši předchozího jasu. Čím větší tento jas byl, tím bude delší i celková adaptace na tmu. Navyknutí na tmu trvá

očím několik minut až hodin (Habel et al., 2013). Adaptace na tmu se prodlužuje s přibývajícím věkem anebo vlivem zrakových poruch (např. makulární degenerace, diabetické retinopatie apod.) (Choudhury, 2015). Pokud je nutné proces adaptace na tmu urychlit, lze použít tzv. červené brýle – tyčinky totiž červená barva nedráždí (Osičková, 2014).

- *Adaptace na barvu* je nutná, abychom dokázali vnímat stálost předmětů okolo nás. Oko je nejcitlivější na modrou barvu a nejméně citlivé na barvu červenou (Choudhury, 2015).

Poslední proměnnou, kterou z hlediska zrakového vnímání zmíníme, je *kontrastní citlivost*, tj. schopnost umožňující rozlišovat rozdíly v jasů. Kontrastní citlivost stanovuje hranici mezi viditelnými a neviditelnými podněty. Na základě této schopnosti můžeme předpovědět některé zdravotní potíže dříve než pomocí měření zrakové ostrosti. Deficity v kontrastní citlivosti se totiž objevují, i když je ostrost vidění zatím ještě v normě (Wu et al., 2020). Na snížení kontrastní citlivosti mají vliv oční vady, ale i hladina alkoholu v krvi (Hohberger et al., 2007). K narušení kontrastní citlivosti dochází i při diabetu, depresi, autismu či schizofrenii. Způsobuje ji také nízký obsah kyslíku, nedostatek světla, oslnění, spánková deprivace nebo únava (Wu et al., 2020).

Vnímání světla i barev, jakož i kvalita zrakového vnímání obecně, je do značné míry individuální záležitost. Mohou ji ovlivňovat různé oční vady a patologie, ale také nemoci či návykové látky. Kvalita vidění se obecně zhoršuje s věkem, objevuje se hojněji šedý i zelený zákal. Prohlubují se dříve diagnostikované oční vady jako krátkozrakost a astigmatismus, častěji se objevuje šeroslepost. Zrak negativně ovlivňuje také diabetes – časté civilizační onemocnění osob vyššího věku (Pašta a kol., 2017). Z hlediska dopravní bezpečnosti je potřeba zdůraznit, že narušení zrakového vnímání má výrazný vliv na reakční čas a následně na celkovou brzdnu dráhu vozidla. Wood et al. (2021) zjistili, že starší řidiči trpící oční vadou vykazují prodloužený reakční čas, zejména pak senioři s diagnostikovaným glaukomem. Při rychlosti 80 km/h se jejich brzdna dráha prodloužila o 16 m. Je proto potřeba snižovat prevalenci nežádoucích jevů v dopravě, jakým je např. oslnění, a dále apelovat i na samotné řidiče, aby nepodceňovali preventivní prohlídky u očního lékaře (Whelan, 2020).

3.1.3 Vyšetření zrakového vnímání a jeho vybraných složek

Kvalita zraku je průběžně orientačně sledována praktickým lékařem v rámci preventivních prohlídek. Specializované oční vyšetření provádí oftalmolog nebo optometrista. Při očním

vyšetření se sleduje centrální, periferní a barevné vidění, dále kontrastní citlivost a adaptace oka na světelné podmínky. Součástí vyšetření by také mělo být posouzení kvality slzného filmu, který ovlivňuje kvalitu optického zobrazení oka i kvalitu výsledného vizuálního vjemu. Zrakové nedostatky, které vylučují nebo podmiňují zdravotní způsobilost k řízení motorových vozidel, jsou v ČR definovány ve Vyhlášce č. 72/2011 Sb.

Vyšetřovací metody a nástroje používané pro hodnocení vybraných aspektů zrakového vnímání shrnuje Tabulka 1 (volně dle Veselý & Beneš, 2019, a Pašta a kol., 2017).

Zraková funkce	Dostupné vyšetřovací metody
<i>Zraková ostrost</i> (→ krátkozrakost, dalekozrakost aj.)	<ul style="list-style-type: none"> • Snellenovy optotypy (vč. Pflügerových háků, Landoltových kruhů, číslic aj.) • LogMAR ETDRS
<i>Kontrastní citlivost</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Sinusové testy (CSV-1000, SWCT) • Písmenové testy (např. Pelli-Robsonův test)
<i>Barvocit</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Pseudoizochromatické tabulky (např. Stilling-Velhagenovy, Ishiharovy aj.) • Anomaloskop • Seřazovací testy (FM100, Lanthonyho test aj.) • Pojmenovávací testy
<i>Adaptace na tmu/světlo</i> (→ tzv. šeroslepost, související s narušenou kontrastní citlivostí)	<ul style="list-style-type: none"> • Hartingerův adaptometr • Combergův nyktometr • Binoptometr • Mesotest
<i>Slzný film</i> (→ syndrom suchého oka)	<ul style="list-style-type: none"> • Schirmerův test I a II • Barvení povrchu oka • Test kvality slzného filmu TFBUT • přístrojové metody (keratograf, osmometr, přístroje pro měření rychlosti vypařování slzného filmu)

Tab. 1: Vybrané zrakové funkce a možnosti jejich vyšetření (dle Veselý & Beneš, 2019, a Pašta a kol., 2017)

Odborné vyšetření *zraku řidiče* provádí praktický lékař ještě před získáním řidičského oprávnění. Další povinná prohlídka je v současnosti ve věku 60 let u očního lékaře, s následným přezkoušením zraku v 65 a 68 letech. Od 70 let musí řidič docházet na kontrolu zraku každé dva roky. Profesionální řidiči chodí na kontrolu zraku po dvou letech, od padesáti let každoročně (Muchová, 2019). Oční vady se ovšem obvykle zhoršují plíživě a řidiči si jich mnohdy nejsou vědomi (Wood et al., 2021).

3.2 Oslnění a reakce řidičů na ně

Krtilová et al. (1981) definovali oslnění jako překročení únosné míry kontrastu, která má značný vliv na vidění a celkový stav nervové soustavy. Při prudkém oslnění dojde k saturaci fotoreceptorů na sítnici, které se posléze musejí zregenerovat (Longley, 2016). Oslnění můžeme definovat také jako nesprávně směřované světlo, které svítí přímo do očí a může způsobit dočasnou slepotu a z toho plynoucí dopravní riziko (Lystrup, 2017).

Mezi základní faktory, které se podílejí na oslnění, patří jas zdroje, jeho velikost, úroveň jasu, kterému jsou oči řidiče aktuálně přizpůsobeny, a poloha zdroje vzhledem k normální linii vidění (prostorový úhel) (Guth, 1961). Lidské oko je nejcitlivější na oslnění ve směru osy pohledu a v jejím blízkém okolí, zhruba do úhlu 14 stupňů. Do úhlu 27 stupňů od pohledové osy je vliv zdroje oslnění menší, při větších úhlech je nejmenší (Habel et al., 2013). Na oslnění se také podílí vliv kontextu, tj. denní doby, ročního období nebo teploty okolního prostředí (Pierson et al., 2017). Někdy k nepříjemnému oslnění mohou přispívat i sami řidiči. Na vině jsou nejčastěji nesprávně nastavené světlomety, nečistota krycích skel světlometů a používání nehomologovaných žárovek nebo přídavných světelných zařízení. V extrémním případě se jedná až o montáž xenonových výbojek do žárovkových světlometů (Popa, 2010).

K oslnění tedy dochází buď při výskytu velkého, nadlimitního jasu, kdy je sítnice zatížena větším jasnem, než na který je adaptována, anebo při střídání výrazně odlišných jasů (Habel et al., 2013). V těchto případech hovoříme o tzv. *přechodovém oslnění*, které vzniká např. při přechodu mezi tmavým a světlým prostorem (typicky kupř. při vyjíždění z tunelu nebo osvětlené obce) nebo kvůli náhlé změně adaptačního jasu v důsledku např. oslnění světlomety protijedoucího auta. Problematické je také *závojevé oslnění*, které může nastat v jasném prostředí s jemnou strukturou – např. v mlze, kouři apod. – kdy se pozorovatel buď zadaptuje na objekt a pak je oslněn jasnějším prostředím, nebo se zadaptuje na jasnější prostředí, ale pak nevidí objekt (je relativně ve tmě) (Košč, 2016).

Oslnění můžeme dále dělit podle příčiny vzniku na *přímé*, způsobené nadměrným jasnem svítícího zdroje, *oslnění odrazem*, způsobené odrazy svítících ploch a jejich bezprostředního okolí, popř. *oslnění kontrastem* (tzv. relativní oslnění), kdy se v zorném poli objeví jasy větší než je původní adaptační jas (Habel et al., 2013; Košč, 2016).

V neposlední řadě lze rozlišovat oslnění fyziologické a psychologické. *Fyziologické oslnění* objektivně snižuje zrakovou ostrost a kontrastní citlivost, přičemž změnu zrakových funkcí lze změřit. Fyziologické oslnění může být *omezující* (v angl. tzv. *disability glare*), vedoucí

k přechodnému snížení zrakové ostrosti a kontrastní citlivosti v důsledku ztráty kontrastu na sítnici kvůli velkému rozptylu světla (typicky nastává při vzájemném míjení automobilů za tmy; Aslam et al., 2007), nebo *oslepující* (tzv. *blinding glare*), kdy je zrakové vnímání na nějakou dobu zcela eliminováno (Habel et al., 2013).

Psychologické nebo taky *rušivé oslnění* (angl. *discomfort glare*) nezpůsobuje přímo zrakový deficit, působí však psychickou nepohodu až únavu a odklání pozornost řidiče od jeho zrakového úkolu, což může vést ke snížení dopravní bezpečnosti. V tomto případě zdroj světla řidiči zpravidla hodnotí jako obtěžující až rušivý (Kent et al., 2019).

Z hlediska konstrukce automobilových světlometů by k omezujícímu až oslepujícímu oslnění nemělo docházet vůbec. Z tohoto důvodu musejí veškeré světlometry splňovat světelně-technické parametry definované v národních a mezinárodních normách (např. SAE J1383, SAE International, 2018; nebo ECE 48, United Nations, 2019). K rušivému oslnění však i přesto docházet může, neboť je do jisté míry subjektivně podmíněné. Na základě výzkumů mezi řidiči lze však optimalizací parametrů světlometů rušivé oslnění omezit.

3.2.1 Měření oslnění

Míru oslnění lze hodnotit pomocí objektivních a subjektivních metod. K *objektivnímu hodnocení* oslnění v interiérech se nejčastěji používá *metoda UGR (Unified Glare Rating)*. Ta měří index úrovně oslnění dle jasů, velikosti, umístění světelného zdroje a jasů pozadí (Kent et al., 2019). Tato metoda slouží ke stanovení míry oslnění, které způsobují umělá osvětlení, např. světla v domácnosti nebo na pracovišti. V ČR a na Slovensku se obvykle používá metoda Jana Netušila. *Netušilova metoda* je velmi podobná metodě UGR; jediný rozdíl jej v tom, že Netušil používá odlišný činitel polohy (Faltus, 2011).

Hodnocení oslnění v exteriéru, např. na silnici, je ovšem složitější, neboť je nutno brát v potaz stacionární osvětlení vozovky (je-li přítomno), pohyb vozidla a další parametry prostředí. Bennett et al. (1985, in Gibbons, n.d.) vyvinuli metodu *CBE – Cumulative Brightness Effect*, která počítá s úhlem zdroje oslnění, jasem zdroje oslnění, jasem pozadí a počtem zdrojů oslnění, a která je podobná metodě *Glare Control Mark*, již používá Mezinárodní komise pro osvětlování CIE (Gibbons, n.d.). Kromě těchto metod lze zmínit ještě vzorec *Schmidta-Clausena a Bindelse* (in Gibbons, n.d.), jenž zohledňuje pozici světelného zdroje, jas pozadí a intenzitu osvětlení zdroje oslnění. Výsledkem posledních dvou metod je odhad míry oslnění řidiče na 9bodové stupnici, čímž se přibližují k *subjektivním metodám* hodnocení oslnění.

Subjektivní metody jsou významně ovlivněny individuálními charakteristikami testovaného jedince, který může být citlivější nebo naopak tolerantnější při určování míry oslnění (Šťastný, 2018). Jak ovšem konstatují experti z mezinárodní skupiny GTB (Groupe de Travail, Langhammer, 2014), „pokud se cítíme oslnění, pak jsme oslnění“, a je již relativně vedlejší, zda čistě subjektivně nebo objektivně. Zohlednění subjektivního pohledu řidičů s různorodými charakteristikami (např. pohlaví, věk, oční vady apod., viz také níže) je tak pro vývoj uživatelsky příjemných automobilových světlometů klíčové – variabilita je v tomto případě vítána.

Jednou z možností subjektivního posouzení oslnění zdrojem světla je metoda *BCD* (*Borderline Between Comfort and Discomfort*). Pozorovatelé si při ní mohou nastavit jas světelného zdroje tak, že by podle nich došlo k oslnění, pokud by jas byl ještě vyšší (Gibbons, n.d.). Tato metoda je spíše laboratorního charakteru a pro použití v automotive může být méně vhodná, neboť výsledný jas je závislý i na dalších parametrech světlometu, které je třeba dodržet.

Další možností je použít *párovou srovnávací metodu*, která je založena na porovnávání oslnění ze dvou zároveň působících zdrojů (Šťastný, 2018). To může být vhodné např. v situaci, kdy máme na výběr z více konstrukčních či barevných řešení (viz kap. 3.3, barevné podání světla) a chceme vybrat uživatelsky přívětivější variantu.

Nejčastěji používanou subjektivní metodou pro hodnocení oslnění je nicméně *de Boerova škála*. Tato škála se využívá v silniční, železniční, letecké i lodní dopravě, přičemž respondent pozoruje vždy jeden zdroj oslnění a na 9bodové stupnici hodnotí míru oslnění od nesnesitelného (1) po nezaznamenané (9). Původní de Boerova metoda byla v minulosti předmětem kritiky, neboť obsahuje nejednoznačné prvky a může být do určité míry neintuitivní. Rozdíly mezi jednotlivými stupni hodnocení jsou velmi malé a mohou být subjektivně odlišně interpretovány. Navíc škála udává nejvyšší číslo k nejlépe snesitelnému oslnění, což je však matoucí ve srovnání s ostatními objektivními škálami (Tyukhova, 2015). Z tohoto důvodu byla pro české prostředí navržena adaptace de Boerovy metody, kde vyšší číslo znamená subjektivně nepříjemnější oslnění (Viktorová et al., 2020).

Samotné zjišťování míry oslnění je možné provádět v různém settingu. Z hlediska místa testování se nabízejí naturalistické studie probíhající *přímo v silničním provozu*, na *uzavřených testovacích tratích* nebo testování *v laboratorních podmínkách*.

Testování v silničním provozu má řadu omezení z hlediska bezpečnosti účastníků testování i dalších účastníků silničního provozu. Rovněž je ale problematické dosáhnout opakovatelnosti jednotlivých střetů řidičů (pozorovatelů) se situací, kdy jsou oslněni. To je dáno jednak rozdílností v geometrii těchto střetů a jednak rozdílnými zdroji světla u protijedoucích vozidel. Celá situace je o to horší, že experimentátor nemůže důkladně charakterizovat (změřit) fotometrické a kolorimetrické vlastnosti světlometů v protijedoucím vozidle. V nejlepším možném případě by bylo možné umístit luxmetr nebo jasovou kameru do výšky řidičových očí, ale tam je velkým problémem krátkost okamžiku, kdy nastává maximum intenzity oslnění, což klade vysoké technické nároky na toto vybavení. Další variantou by bylo mít k dispozici informaci o značce a modelu protijedoucího vozidla a z těchto usuzovat na použité světlomety, avšak ani tento přístup není v realitě k užítku. Fotometrie a kolorimetrie světlometů se může značně lišit od parametrů, které měly originální světlomety během svých testů v továrnách. To je dáno mnoha různými faktory, včetně možných poškození či neschválených úprav ze strany řidičů tyto vozy vlastníci.

Testování na uzavřeném okruhu některé z těchto problémů řeší. Nicméně ne vždy je takový okruh či uzavřená část vozovky experimentátorům k dispozici. Opakovatelnost některých situací se může zvýšit, byť i zde platí jistá variabilita mezi opakováním jednotlivých pokusů. Co se týká zdrojů světla na protijedoucích vozidlech, tak je možné buď důkladně proměřit světlomety, které má toto vozidlo nainstalovány, nebo je možné využít různých nosných ramp, které umožní instalaci dalšího páru světlometů. Tyto světlomety jsou předsunuty před ty, které již vozidlo má. Na tuto rampu je možné postupně umisťovat různé vzorky, které byly předtím důkladně laboratorně charakterizovány z hlediska jejich fotometrických a kolorimetrických vlastností. Výhodou tohoto postupu je zachování vysoké míry ekologické validity (testování v relativně přirozených, venkovních podmínkách), nevýhodou je již zmíněná špatná dostupnost tohoto řešení (vlastní uzavřený okruh), nemluvě o skutečnosti, že by tyto testy mohly být prováděny pouze v noci.

Možností, jak některé nevýhody výše zmíněných přístupů omezit, je přesunout celý experiment do laboratoře. Lze při tom využít např. světelných tunelů, které simulují reálnou vozovku a jimiž mnozí výrobci automobilových světlometů již disponují, nebo zařídit laboratoř speciálně k tomuto účelu. Minimální doporučené parametry laboratoře a jejího vybavení pro účely hodnocení míry oslnění automobilovými světlomety taktéž upravuje tato metodika v Metodické části.

3.2.2 Reakce řidičů na oslnění

Na úvod této podkapitoly je nutno zdůraznit, že při vnímání a prožitku oslnění dochází k velké variabilitě mezi jednotlivými účastníky dopravního provozu; je třeba mít na paměti, že oslnění je zpracováváno a vyhodnocováno individuálně. Světlo, které je pro jednoho člověka již oslňující, nemusí vždy negativně ovlivnit jiného účastníka (Pierson et al., 2017). U řidičů hraje při oslnění roli věk (s přibývajícím věkem se člověk stává na oslnění citlivějším), aktivita neuronů ve zrakové kůře, pigmentace duhovky (lidé se světlýma očima jsou zřejmě na oslnění citlivější než lidé tmavoocí), aktuální emoční ladění, zdravotní a fyzický stav, únava a mnohé další faktory (Pierson et al., 2017). Potíže s oslněním mají tedy především starší lidé (Friedland et al., 2017), za některých okolností je však mnohem více oslněn řidič mladší (Gray et al., 2012).

Oslnění vede u řidičů k různým projevům *stresu*. Mezi ty základní lze řadit (Andreassi, 2006; Cacioppo et al., 2007):

- *zvýšení kožní vodivosti* (tzv. EDA – elektrodermální aktivity) v důsledku pocení;
- *změnu srdeční (tepové) frekvence*, tzv. HRV (heart rate variability); a
- *změnu dechové frekvence*, která také souvisí se srdečním rytmem.

V našem výzkumu jsme zjistili, že pokud se řidič setká s oslněním stejným zdrojem světla, jaký sám aktuálně používá, stoupá mu srdeční frekvence. Zároveň se zdá, že je-li řidič ve stresu, má sklon méně *mrkat*. To může být kompenzační mechanismus vycházející ze snahy udržet pozornost na vozovce, nicméně pak na sítnici dopadá více světla a v zorném poli tak mohou vznikat tzv. paobrazy, které dále narušují korektní vidění. Stresová reakce sice klesá (a mrkání narůstá) s časem, tj. při opakovaném vystavení oslnění již tělo nereaguje tak silně, je však potřeba brát v potaz, že ve výzkumu byly mezi jednotlivými oslněními max. 5minutové rozestupy. Nelze tedy spoléhat, že se stejný efekt dostaví i na silnici, když bude řidič oslněn např. každých 30 minut. Svou roli může hrát také věk, neboť starší participantů obecně reagovali na oslnění slaběji, více mrkali a hodnotili oslnění jako méně nepříjemné než mladší účastníci, což může být dáno např. žloutnutím čočky s věkem a dalšími intraokulárními změnami.

Zjistili jsme také, že pokud na participanta svítí typ světla, který preferuje, a zároveň on sám svítí preferovanými světly, pak je jeho stresová reakce o něco nižší. Setká-li se ovšem se světelným zdrojem, který nepreferuje, reakce se naopak zvýší. Subjektivně pak byly nejméně oslňující halogenové reflektory.

Zároveň bylo typickou reakcí na oslnění přivření očí a otočení hlavy mimo směr vyzařování oslnujícího světelného zdroje. Účastníci našeho výzkumu udávali, že v rámci prevence oslnění se raději nedívají do světlometů protijedoucího automobilu, zpomalí, přimhouří oči, manipulují se zpětným zrcátkem a někteří z nich si nasadí brýle. Řada těchto projevů přitom přeruší vizuální kontakt řidiče s vozovkou a situací před ním, což je z pohledu dopravní bezpečnosti velmi rizikové.

Při zjišťování míry oslnění je každopádně potřeba nejprve zjistit a následně brát v potaz charakteristiky řidičů-respondentů (viz výše), a to včetně jimi používaných kompenzačních pomůcek (např. brýle, kontaktní čočky, intraokulární čočky apod.). Pozitivní je, že značná část těchto proměnných je objektivně měřitelná a existuje tak i odpovídající přístrojová technika. Avšak poměrně významnou komplikací pro realizátora takových studií mohou být vysoké pořizovací náklady těchto přístrojů a také odpovídající kvalifikovaný personál, který umí nejen s touto přístrojovou technikou zacházet, ale zejména ví, jak interpretovat výsledky jednotlivých měření. To může znamenat i interdisciplinární tým pracovníků sestávající z optometristy, (neuro)oftalmologa, biomedicínského inženýra, psychologa, neurologa a dalších. Přehled základních charakteristik řidiče relevantních vůči hodnocení oslnění a jeho zrakových funkcí, jakož i možností jejich zjišťování, podává tato metodika níže v Metodické části.

3.3 Světelné zdroje v automobilových světlometech

V automobilových světlometech se v současnosti lze potkat s různými druhy *světelných zdrojů*. Jedná se o žárovky, xenonové výbojky (HID světlomety) a LED diody. Tyto zdroje se vyznačují odlišnými charakteristikami, mezi které patří např. různé barevné spektrum a související teplota chromatičnosti, intenzita, flicker a velikost plochy, z níž je světlo vyzařováno (Stanke & Viktorová, 2019). Všechny tyto charakteristiky mohou ovlivňovat jejich celkový vjem řidiči.

Halogenové žárovky dnes již v nových vozech ustupují LED zdrojům, u starších vozů se však s nimi setkáváme běžně. Jejich teplota chromatičnosti se pohybuje mezi 2900–3100 K a světelný tok 1500–2000 lm. Jejich nevýhodou je krátká životnost a hůře viditelná barva (Žlebek, 2013). Výhodou je naopak nízká pořizovací cena a snadná možnost výměny (Lažanský, 2016).

Xenonové výbojky (HID – High Intensity Discharge) jsou účinnější než běžně používané žárovky. Mají nižší spotřebu energie, delší životnost, delší dosvit, širší světelný kužel a vyšší

barevnou teplotu. Tato světla byla používána od devadesátých let dvacátého století. Zpočátku byla instalována pouze do luxusních vozidel, postupně se však rozšířila do vozů všech cenových skupin a do příchodu LED zdrojů nabývala na popularitě (Popa, 2010).

LED diody (Light Emitting Diode) jsou v posledních letech stále oblíbenější. Jejich výhodou je nízká spotřeba energie, dlouhá životnost (až 10 let) a dobrá svítivost. Mohou mít různé teploty chromatičnosti a tím způsobovat, že pozorované světlo je spíše „chladné“ (modřejší), nebo naopak „teplé“ (oranžovější). Nevýhodou LED zdrojů je vyšší pořizovací cena a složitý postup opravy, někdy až nemožnost jejich výměny (Wilson, 2020).

V neposlední řadě lze zmínit *laserová světla*, která patří mezi aktuálně nejnovější, nicméně stále spíše okrajovou záležitost. Momentálně jsou používána výrobci BMW a Audi, zpravidla se jedná o součást dálkové funkce světlometů spouštěných až od určité rychlosti vozidla (Wilson, 2018).

Jelikož se populární HID a LED světlomety vyznačují vyšší pořizovací cenou, někteří řidiči obcházejí tuto investici tím, že do svých původně halogenových světlometů s reflektorovou soustavou zakoupí tzv. retrofit – LED, opatřenou kompatibilní žárovkovou patičí s vyšší světelnou účinností. Důsledkem je vysoké riziko oslnění protijedoucích vozidel. Původní reflektory totiž nejsou pro LED zdroje optimalizovány (dáno rozdílnou geometrií těchto zdrojů) a nedistribují jejich světlo žádoucím způsobem. Proto také není většina takto běžně zakoupitelných náhrad homologována. Tyto úpravy nejsou z hlediska dopravní bezpečnosti vhodné ani legální, což bohužel řada řidičů neví nebo nebere v potaz (Mazal, 2020, a také výsledky vlastního výzkumu autorů). Lze očekávat, že v budoucnu nabízená retrofit řešení budou navrhována pro určitý specifický typ světlometů, ve kterých budou schopny vytvořit distribuci odpovídající legálním požadavkům, zatím tomu tak ve většině případů v době psaní tohoto textu není.

Legální parametry světlometů a přípustných světelných zdrojů jsou dány předpisy, které definují zejména normy v oblasti intenzity a barvy světla. V rámci Evropské Unie se využívají normy ECE. Ty přesně definují rozložení světelné distribuce a další podstatné fotometrické a kolorimetrické parametry světla (ECE 48, United Nations, 2019). Pro americký trh jsou pak závazné normy SAE (např. SAE J1383, SAE International, 2018). Americká organizace IIHS (Insurance Institute of Highway Safety) navíc od roku 2016 zařadila do svého ratingu bezpečnosti automobilů také hodnocení světlometů, což mnohé výrobce přimělo zvýšit kvalitu nabízených modelů (Curry, 2021).

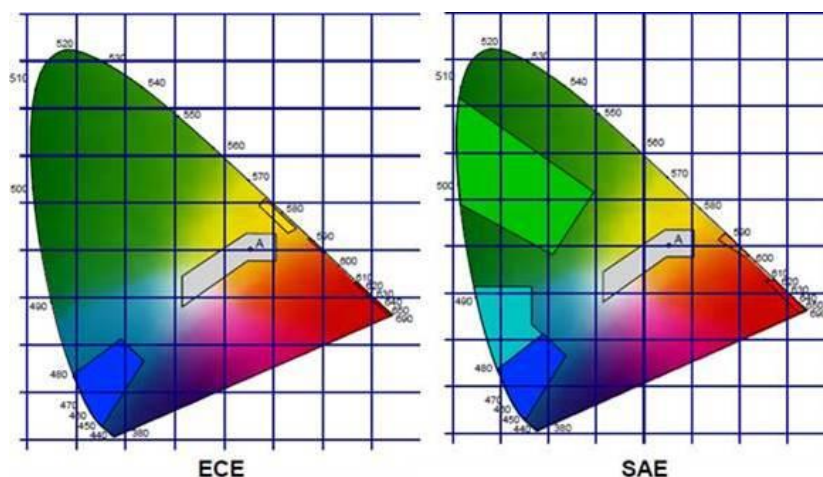
Při srovnání různých světelných zdrojů přesto pozorujeme řadu rozdílů, kdy ty největší mohou spočívat v již zmiňované teplotě chromatičnosti. *Teplota chromatičnosti* (též *barevná teplota*) je fyzikální veličina definovaná jako charakteristika světla se spektrem podobným tepelným zářičům (tedy blízkým spektru dokonale černého tělesa, včetně běžného bílého světla). Udává se v Kelvinech (K). Určuje, v jaké barvě bude dané světlo svítit (Žlebek, 2013). Na následujícím obrázku (obr. 4) můžeme vidět, jakým barvám odpovídají různé teploty chromatičnosti.



Obr. 4: Teplota chromatičnosti

Zdroj: <https://blog.exkalibr.cz/index.php/2019/01/14/teplota-chromaticnosti-barevna-teplota-svetla/>

Přestože ve výše uvedených normách je mj. vymezena oblast tzv. legální bílé barvy (viz obr. 5), barevné podání jednotlivých zdrojů se z pohledu řidiče může lišit.



Obr. 5: Legální bílá zóna dle ECE a SAE

Zdroj: Stanke & Viktorová (2019, s. 118)

Bílé světlo se totiž skládá ze tří barev, a to z modré, zelené a červené. Nejvíce koncentrovaná energie je přitom v modré barvě, čehož využívají právě výrobci LED. Aby ovšem výsledné světlo nebylo čistě modré, je potřeba ho konvertovat – typicky třeba žlutým luminoforem.

Výsledná bílá barva vzniklého světla je pak kombinací modrého světla PN přechodu diody a světla konvertovaného žlutým luminoforem (Stanke & Viktorová, 2019). Nejnovější technologický vývoj v oblasti LED míří k využívání luminoforů, které jsou jiných barev - např. narůžovělé až nafialovělé (purple). Takové LED umožňují mnohem přesnější nápodobu světelného spektra Slunce, než je tomu u konvenčních LED, které jsou v době psaní tohoto textu běžnější. V závislosti na složení konkrétního světelného zdroje pak vzniká výsledný vjem.

LED tedy nabízejí různé barevné podání světla, tzv. *biny*, přičemž nejčastěji se využívá světlo jasně bílé nebo zabarvené do modra (Fekete et al., 2005). Je ale na místě se ptát, jaké barevné podání je příjemné z pohledu zákazníka – koncového uživatele – a jaké barevné podání je nejvhodnější z hlediska dopravní bezpečnosti.

Vnímání barev je velice subjektivní, taktéž barevná preference je u různých lidí odlišná. Tyto individuální odlišnosti potom hrají důležitou roli i v hodnocení příjemnosti/nepříjemnosti působení světlometů na řidiče. Conboy (2020) zjistil, že žlutá barva světlometů řidiče oslňuje nejméně a zároveň poskytuje dobrý výhled za deště, sněhu i mlhy. Žluté světlo má delší vlnovou délku a je pro lidské oko příjemnější. Naproti tomu nová LED světla se mohou jevit jasnější a vést k pocitu lepší viditelnosti (Conboy, 2020).

Vnímáním barevného podání LED zdrojů se zabývala i řada dalších výzkumných studií. Bylo zjištěno, že u vlastních vozů řidiči preferují bílé světlo, u protijedoucích vozidel by však ocenili světla žlutá (Forbes, 1972; podobně také výsledky vlastního výzkumu autorů). V preferenci různě barevných LED světel přitom existují kulturně-geografické rozdíly (Wei et al., 2017). Čeští řidiči by dle našich zjištění z čistě estetického hlediska na vlastním automobilu preferovali jasně bílá světla (LED, případně xenonová), obdobně jako bylo zjištěno v zahraničních studiích (Forbes, 1972; Schiller et al., 2009), nicméně u protijedoucích vozidel se jejich preference mohou výrazně různit.

Subjektivně mají řidiči vozidel s jasně bílými až namodralými světelnými zdroji širší a jasnější výhled (Žlebek, 2013). Nevýhodou těchto světel je však vyšší oslnění v protisměru jedoucích řidičů. Friedland et al. (2017) zjistili, že HID světlomety zlepšují výhled, ale zároveň více oslňují protijedoucí vozidlo. Výsledky výzkumů ukazují, že řidiče negativně ovlivňují zejména světlomety s výraznou modrou barevnou složkou, což může být problematické právě u LED zdrojů. Zdroje s výraznou modrou složkou způsobují potíže při vizuálním rozpoznávání detailů a v reakčním čase (Fekete et al., 2005). Na vozidle tedy

takové světlometry mohou působit elegantně, u řidičů však může namodralé světlo způsobit závoje oslnění. Důvodem je větší intraokulární rozptyl modrého světla, které je obecně rozptylováno více než světlo jiných vlnových délek. Tento efekt je dále umocněn věkem řidiče, či dalšími patologickými změnami vnímání světla (šedý zákal aj.) (Ikaunieks & Ozolinsh, 2008; Ortiz-Peregrina et al., 2020).

Kromě barevné teploty může být u LED zdrojů z hlediska oslnění problematická i *velikost plochy, z níž je světlo vyzářováno*. Klasické halogenové žárovky mají tuto plochu samy o sobě větší než LED zdroje, kde svítí malá oblast velikosti zlomku až jednotek milimetrů čtverečních. LED zdroje navíc – na rozdíl od žárovek – nebývají typicky upevněny do reflektoru, ale jsou součástí modulové projekční soustavy, která světlo tolik nerozptyluje, ale spíše soustředí do menší plochy. Výsledky společnosti ADAC, která se zabývá silniční dopravou, ukázaly, že LED zdroje v projekčních soustavách skutečně působí na řidiče jako více oslňující (Ammel, 2019).

Přestože řada světlometů především v příplatkové výbavě a/nebo u vozů vyšších tříd umožňuje aktivně měnit světelnou distribuci v závislosti na okolním prostředí tak, aby pokud možno nedocházelo k oslnění ostatních účastníků provozu, nejsou tyto systémy v českém vozovém parku ještě úplně rozšířené – dle výsledků našeho průzkumu vlastní *adaptivní světla* necelá polovina dotázaných řidičů, využívá je však pouze 22 % respondentů. Často se tato možnost ale týká pouze *dálkových* světél. K oslnění přitom může dojít – a dle výsledku našeho průzkumu mezi českými řidiči také často dochází – *potkávacími* světly protijedoucích automobilů. Zjištění subjektivního pohledu a reakcí řidičů na světlometry vyvíjené pro provoz v silniční dopravě by tak nemělo opomíjet ani tuto funkci. Předkládaná metodika proto navrhuje způsoby, jakým by se zjišťování pohledu řidičů na automobilové světlometry mohlo stát součástí dobré praxe jejich výrobců.

4. Metodická část

K ověření reakcí řidičů na oslnění vyvíjenými automobilovými světlomety v laboratorních podmínkách je potřeba splnit následující:

- **znát charakteristiky testovaných světelných vzorků**, u kterých se dle požadavků norem ECE, SAE, a případně dalších, provedou fotometrická a kolorimetrická měření, typicky s využitím goniofotometru – tento postup je upraven existujícími předpisy a není proto součástí této metodiky;
- **znát charakteristiky zraku řidiče**, jakož i jím používaných kompenzačních pomůcek;
- **mít k dispozici vhodné prostory a vybavení pro simulaci nočního provozu na dvousměrné vozovce**;
- **dodržet jednotný postup testování řidičů** při ověřování jejich reakcí na různé světelné vzorky, včetně určení sledovaných reakcí.

Tato metodika si klade za cíl poskytnout základní (minimální) doporučení pro výše uvedené body, stanovené na základě provedené teoretické rešerše a vlastní výzkumné práce autorů. Reálně vzniknuvší experimenty a studie mohou být samozřejmě obohaceny o další sledované charakteristiky, proměnné a postupy, s ohledem na sledované cíle těchto výzkumů.

4.1 Vstupní charakteristiky řidiče a jejich zjišťování

Z hlediska reakce na oslnění a hodnocení míry oslnění řidiči jsou relevantní zejména následující charakteristiky jejich zrakového vnímání:

- *zraková ostrost a dioptrická vada* (tj. ne/přítomnost očních vad a jejich specifikace – krátkozrakost, dalekozrakost, astigmatismus, vetchozrakost vč. odpovídající dioptrické korekce);
- *kontrastní citlivost a související schopnost adaptace na tmu/světlo* (např. zda řidič netrpí tzv. šeroslepostí);
- *barvocit*;
- *ne/přítomnost dalších očních onemocnění* (např. šedý zákal, zelený zákal, poškození či onemocnění sítnice a/nebo sklivce, ...);
- *kvalita slzného filmu* (tj. zda řidič např. ne/trpí syndromem suchého oka).

Metody pro vyšetření vybraných relevantních aspektů zraku jsou uvedeny v kapitole 3.1.3 a dále v odborné literatuře. Vyšetření těchto aspektů zraku nicméně může, resp. vzhledem k potřebné expertíze by lépe mělo, proběhnout v ordinaci specialisty (oftalmologa, optometristy, atp.); výzkumník by měl mít pouze informaci o výsledných nálezech.

Stejně tak je vhodné mít informaci o řidičem používaných kompenzačních pomůckách, tj.:

- *ne/používání kontaktních čoček* (což může mj. souviset s pocitem suchého oka);
- *používaný typ brýlí*, pakliže řidič nějaké používá, ať už běžně nebo na řízení (ke korekci krátkozrakosti/dalekozrakosti/multifokální/...; popř. zda řidič používá na řízení jiné brýle než běžně, a jejich charakteristiky);
- *ne/přítomnost antireflexní vrstvy* na brýlích;
- *míra filtrace modrého světla (brýlových) čoček*;
- *zabarvení brýlových skel* (např. samozabarvovací čočky atp.).

Při sestavování výzkumného souboru by dále měly být vzaty v potaz následující demografické charakteristiky řidičů:

- *pohlaví* (rovnoměrné zastoupení mužů a žen ve výzkumném souboru),
- *věk* (ve výzkumu by se měli vyskytovat jak mladší řidiči – do 25 let, tak i řidiči v produktivním věku – 25–65 let, jakož i řidiči-senioři, tj. 65+ let),
- *řízení automobilu v rámci práce* (zda se např. jedná o řidiče z povolání),
- *práce v osvětlování* (tj. zda dotyčný/á pracuje v oblasti světelné techniky).

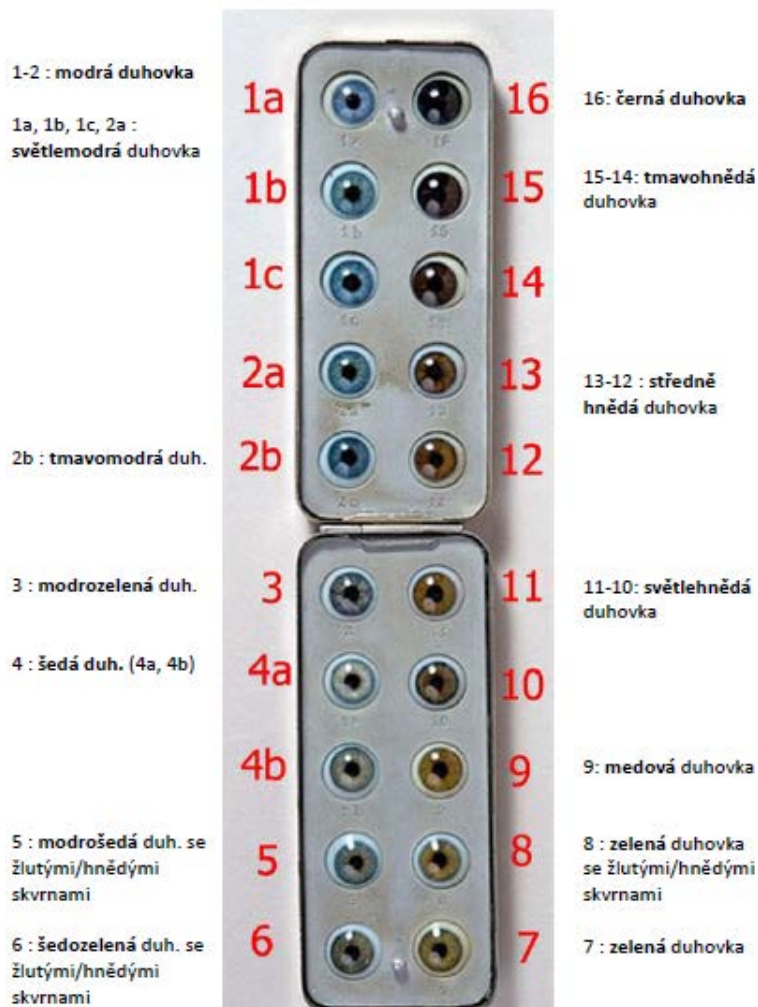
Zároveň by u účastníků výzkumu zjišťujícího reakci na oslnění mělo být známo:

- *kolikrát do týdne řídí*,
- *jaký typ vozidla nejčastěji řídí* (osobní automobil, SUV/crossover, dodávka/užitkový vůz, kamion, autobus, motorka/skútr,...),
- *jaký zdroj světla je ve vozidle, které nejčastěji řídí* (žárovka, HID, LED,...),
- *kolik km za měsíc v průměru najedou*,
- *na jakém typu silnic jezdí nejčastěji* (v obci/ve městě, mimo obec, na dálnici),
- *jak často jezdí za zhoršených světelných podmínek* (svítání/soumrak, tma, mlha/děšť).

Výše uvedené charakteristiky mohou ovlivňovat subjektivní prožívání oslnění různými světelnými zdroji s ohledem na to, na co je řidič zvyklý ve svém běžném životě. V rámci aplikovaných studií nepředpokládáme, že se vždy podaří sestavit dostatečně velkou skupinu

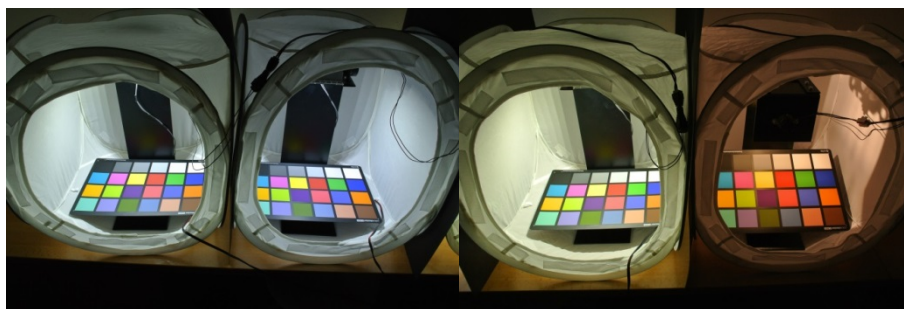
účastníků (řidičů) tak, aby mohly být různé podskupiny detailně porovnávány mezi sebou (např. řidiči s brýlemi vs. bez zrakové vady). Spíše jde o to, aby byl zkoumaný soubor řidičů dostatečně variabilní, tj. nezahrnoval např. jen mladé řidiče-muže do 25 let bez zrakových vad, neboť takový soubor by dostatečně nereprezentoval rozmanitost řidičské populace.

Kromě výše popsaných charakteristik lze ještě zvažovat *barvu očí* řidičů (hodnocenou např. pomocí Martin Schulz Scale, viz obr. 6) a jejich *barevné preference* v oblasti barevného podání světelných zdrojů. To lze učinit např. pomocí jednoduchého stolního experimentu s bílými fotostany (40×40×40 cm), v nichž budou umístěny kalibrované barevné tabulky (např. Munsell ColorChecker Chart) nasvícené stejnými zdroji, jaké budou použity ve zkoumaných světlometech (viz obr. 7). Tyto fotostany by měly být umístěny v tmavé, neosvětlené místnosti, a před hodnocením barevného podání zdrojů by mělo dojít k min. 5minutové adaptaci testované osoby na tmu.



Obr. 6: Martin Schulz Scale - hodnocení barvy duhovky

Zdroj: <https://eye-color-photos.blogspot.com/2021/01/martin-schultz-scale-eye-color.html>, popisky doplněny autory



Obr. 7: Fotostany s Munsellovými tabulkami, nasvícenými různými světelnými zdroji

Zdroj: archiv autorů

Fotostany by měly být umístěny přibližně ve výšce očí účastníků, tak, aby byly v jejich zorném poli. Za tímto účelem lze účastníka posadit na židli a fotostany umístit na vyvýšený stůl, vzdálený od účastníka min. 1,5 metru. Má-li být porovnáváno více světelných zdrojů, resp. jejich barevných podání, je vhodné, aby byl v každém fotostanu umístěn jeden z porovnávaných zdrojů a fotostany byly od sebe navzájem odděleny světlo-nepropustnou bariérou (např. černá kartonová deska). Následně může dojít k párovému porovnávání prezentovaných nasvícení, kdy budou vždy zapnuty dva zdroje naráz a testovaná osoba označí ten, jehož barevné podání jí je subjektivně příjemnější. Takto mohou být postupně otestovány všechny dvojice porovnávaných zdrojů (v náhodném pořadí pro každého participanta), načež se pro každý zdroj spočte, kolikrát byl danou testovanou osobou zvolen jako preferovaný.

Pro zrychlení této procedury lze také prezentovat všechny zdroje/barevná podání najednou (v separátních fotostanech umístěných vedle sebe) a nechat testovanou osobu označit preferovaný zdroj/barevné podání přímo. V tomto případě je však nutné, aby všechny prezentované zdroje byly naráz v zorném poli účastníka a nasvícení kalibrovaných tabulek bylo dobře viditelné; nedoporučujeme proto testovat více než 4 barevná podání/světelné zdroje najednou. V této variantě lze také pokládat více preferenčních otázek a následně opět sečíst, kolikrát byl daný zdroj/barevné podání zvoleny jako preferované. Příklady otázek (na základě literatury a vlastního výzkumu autorů) mohou zahrnovat následující:

- Ve kterém boxu vám barvy na tabulce přijdou nejživější?
- Které osvětlení se vám celkově líbí nejvíc?
- Které osvětlení vám přijde nejpřirozenější?
- Které osvětlení vám přijde nejvíc bílé?
- Jak byste chtěl/a, aby na silnici svítilo vaše auto?
- Jak byste chtěl/a, aby svítilo auto jedoucí proti vám?

4.2 Prostory a vybavení k laboratorní simulaci oslnění v nočním provozu a sledování reakcí řidiče na oslnění

Pakliže chceme provést experimentální ověření reakcí řidiče na oslnění světlomety protijedoucího automobilu v laboratorních podmínkách, potřebujeme v první řadě prostory vhodně upravené tak, aby mohlo dojít k simulaci nočního provozu na dvousměrné silnici. Jako minimální parametry doporučujeme dodržet následující:

- *rozměr místnosti min. 5×10 m* pro zajištění přibližné simulace dvou jízdních pruhů (šířka místnosti zhruba odpovídá šířce dvou jízdních pruhů, zatímco délka místnosti 10 metrů odpovídá minimální vzdálenosti, do které se umisťují měřicí stěny v laboratořích pro měření fotometrie automobilových světlometů); pro účely těchto experimentů lze využít i světelné tunely, které mají společnosti zabývající se vývojem světlometů k dispozici k ověření jejich fotometrických a dalších vlastností (dohlednosti, homogenity distribuce apod.), pakliže mají minimální šířku 5 metrů; je zjevné, že čím větší bude délka, popř. i šířka laboratoře, tím větší bude variabilita pro testování různých situací, které mohou nastat (včetně např. simulace detekce překážek, dopravních značek či chodců na okraji „vozovky“ atp.);
- *možnost úplného zatemnění místnosti*, tj. okna jsou buď úplně odstraněna, nebo je zajištěno jejich dodatečné úplné zatemnění světlo-nepropustnou černou látkou tak, aby do ní nevnikalo žádné parazitní světlo z vnějšího prostředí; podobně by světlo nemělo pronikat ani okolo dveří;
- *černý matný nátěr stropu a obvodových zdí*, popř. i lokálních ploch, které mohou nežádoucím způsobem odrážet světlo (např. radiátory, trubky apod.); zvolena by měla být černá matná barva s nejnižší možnou odrazivostí; (při požadavku na větší variabilitu možností experimentu lze čelní stěnu místnosti ponechat bílou – tak, aby mohla sloužit jako projekční plátno pro příp. promítání simulace dopravní situace či jiného podnětového materiálu – s možností jejího zatemnění za pomoci světlo-nepropustné černé látky, „opony“);
- *zakrytí podlahy tmavým zátěžovým kobercem nebo jinou krytinou, která svými optickými vlastnostmi (odrazivostí) přibližně simuluje běžnou vozovku* – nepředpokládáme využití asfaltu v interiéru, nicméně i to by bylo principiálně možné;
- *instalace stmívatelného stropního osvětlení* k možnosti simulace osvětlení „vozovky“ veřejným osvětlením; ideální z hlediska naturalističnosti je využití zdrojů využívaných v rámci veřejného osvětlení (viz příslušné technické normy ČSN, upravující příp.

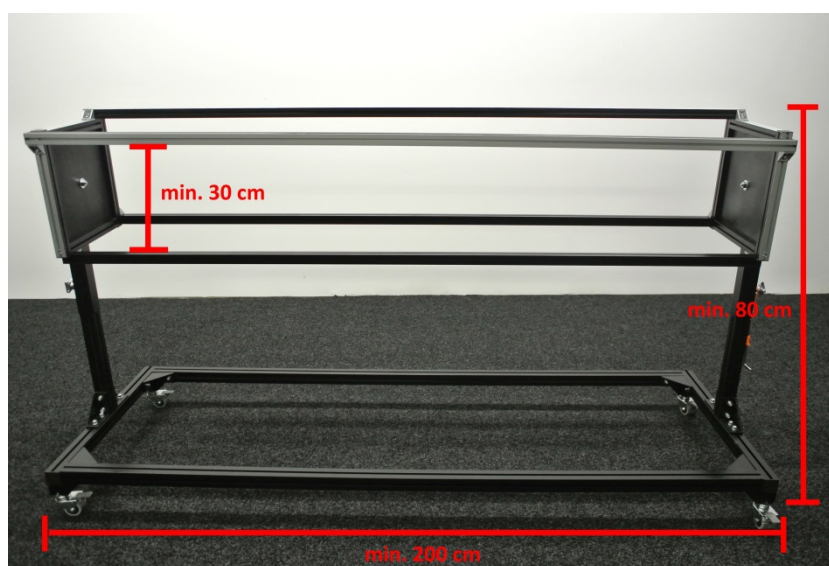
i vzdálenosti mezi svítidly), použít lze nicméně i světelné zdroje s možností regulace barevného podání a jasu svítidla; při umístění více svítidel do prostoru je vhodné ovládání každého svítidla zvlášť; svítidla i další kabeláž by ideálně měla být umístěna v podhledu, tak, aby nenarušovala prostor příp. odraznými plochami;

- *instalace dostatečného množství zásuvek 230 VAC* s ohledem na rozměry místnosti; pro místnost o rozměrech 5×10 metrů je doporučeno je min. 1 separátně jištěné hnízdo (min. 10 A) o 5 zásuvkách na každé z bočních stěn u čelní strany místnosti, a totéž na bočních stěnách zadní strany místnosti, kde bude sedět pozorovatel (řidič) a kde bude umístěna přístrojová technika k záznamu jeho psychofyzilogických reakcí (viz kap. 4.3); pro místnosti větších rozměrů je dále vhodné umístit dodatečná hnízda zásuvek (např. do podlahy u čelní a zadní strany místnosti, či do obvodových zdí přibližně po 5 metrech); k tomu je vhodné pořídit min. 4 prodlužovací kabely se zásuvkami (ideálně s vlastním vypínáním) v délce min. 3 metrů, popř. i delší v závislosti na rozměrech místnosti a příp. požadavku na mobilitu karuselu (viz níže), přičemž se předpokládá jejich zapojení do zásuvkových hnízd tak, aby mohly být pohodlně zapojeny všechny používané přístroje; pro základní setting není plánováno použití žádných výkonových přístrojů, nejvyšší odběr by tak měly mít samotné světlomety/moduly, jejichž příkon by při spuštění všech funkcí mohl dosahovat až 100 W na 1 světlomet/modul, přičemž žádný z dalších použitých přístrojů by samostatně neměl mít příkon větší než 1000 W (což je maximální příkon doporučených dostupných DC zdrojů, viz níže).

Z hlediska vybavení by laboratoř měla disponovat minimálně následujícím:

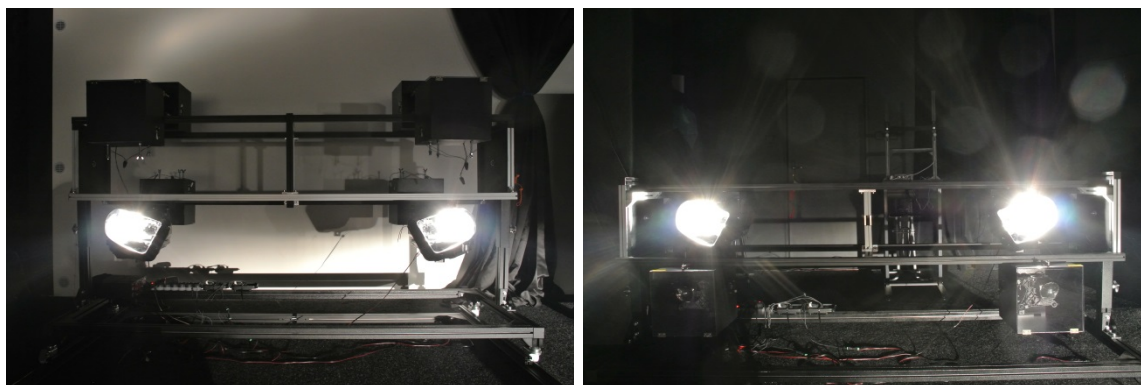
- *2 ks otočných stojanů – tzv. karuselů* k upevnění světelných vzorků (párů světlometů) – pro „řidiče“ a „protijedoucí vozidlo“ tak, aby bylo možné studovat působení různých kombinací světlometů na straně řidiče i protisměrného provozu. Šířka stojanu by měla činit min. 200 cm, aby na něj mohly být světlomety umístěny v dostatečném rozestupu tak, jako by tomu bylo na reálném vozidle, a stojan by měl být výškově nastavitelný (min. výška 80 cm); hloubka stojanu bude závislá na rozměrech testovaných světlometů, doporučujeme však minimální rozestup 30 cm v otočné části, viz obr. 8. Karusely je možné sestavit svépomocí z unifikovaných hliníkových profilů. Otočné karusely jednak umožní montáž více párů světelných vzorků a jejich snadné střídání v rámci experimentu (stačí otočit vrchní částí a není třeba nic sundávat, viz obr. 9, vlevo), a jednak umožní naklápění světelných vzorků takovým způsobem, aby se hranice světelné distribuce pohybovala nahoru a dolů (jako při přejezdu horizontu – tj.

momentu, kdy dochází k oslnění). Tento pohyb lze zajišťovat manuálně, nebo jej lze motorizovat pro plynulejší ovládání rychlosti otáčení. Celou konstrukci karuselu je možné umístit na kolečka a příp. kolejnice, které umožní také pohyb karuselu dopředu (opět manuálně či motorizovaně) – to může být vhodné pro simulaci jízdy „protijedoucího vozidla“. Pro řidiče (pozorovatele, jenž má být oslněn) je možné ponechat stacionární stojan, který bude nastaven do minimální výšky tak, aby nezasahoval příliš do jeho zorného pole (viz obr. 9, vpravo), a zároveň umožňoval upevnit světlomety do požadované výšky, jako u reálného vozidla. Uspořádání stojanů z pohledu řidiče (pozorovatele) je znázorněno na obr. 10;



Obr. 8: Karusel pro montáž světelných vzorků (párů světlometů) jakožto zdroj oslnění s rozměry

Zdroj: archiv autorů



Obr. 9: Vlevo - karusel osazený světelnými vzorky; vpravo – stacionární stojan na místě řidiče

Zdroj: archiv autorů



Obr. 10: Uspořádání laboratoře z pohledu řidiče

Zdroj: archiv autorů

- *stojan s opěrkou hlavy pro řidiče*, výškově nastavitelný tak, aby opěrku brady bylo možné umístit min. do výšky 100 cm, a umístěný přibližně do vzdálenosti 150 cm od přední strany stojanu „řidiče“; možnou podobu stojanu a usazení řidiče znázorňuje obr. 11, kde jsou zároveň ve výšce očí řidiče (přibližně 10 cm nad opěrkou brady) po obou stranách stojanu instalovány luxmetry detekující množství světla, které v danou chvíli přibližně dopadá do očí řidiče. Stojan je možné, podobně jako karusely, sestavit z unifikovaných hliníkových profilů. Výšku stojanu a opěrky, jakož i umístění stojanu lze principiálně přizpůsobit výšce řidiče či rozměrům konkrétního vozu, pro nějž má být simulace prováděna, pro srovnatelnost jednotlivých měření nicméně doporučujeme v rámci jednoho experimentu se světelnými vzorky (světlomety) tato nastavení fixovat na konkrétní hodnoty, shodné pro všechny účastníky experimentu, a tyto hodnoty zaznamenat;



Obr. 11: Stojan pro řidiče s opěrkou hlavy, vybavenou luxmetry (zvýrazněno červeně), a usazení řidiče

Zdroj: archiv autorů

- *židle/sedačka pro řidiče*, výškově nastavitelná, s min. výškou 40 cm (pro simulaci sezení ve vozidle; opět lze nastavit dle potřeb konkrétního účastníka-řidiče či simulovaného vozu);
- *zázemí pro výzkumníka*, tj. minimálně psací stůl a kancelářská židle, obojí v tmavé (ideálně černé) barvě, umístěné mimo zorné pole řidiče (např. za řidičem, u zadní stěny v rohu místnosti), a dále případné skříňky či poličky pro umístění spotřebního materiálu či dalšího vybavení; schéma možného rozmístění vybavení laboratoře je na obr. 12, fotografie možné podoby laboratoře vč. usazení řidiče pak na obr. 13.

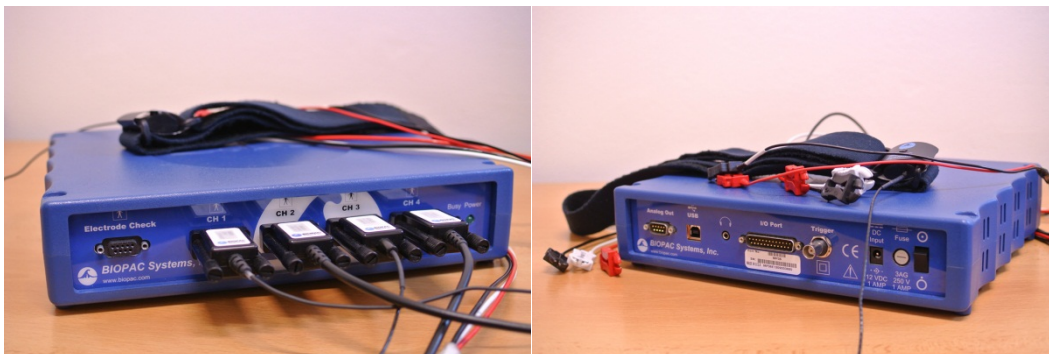
měly umožňovat regulovat výstupní napětí min. v rozsahu 1–32 V a výstupní proud min. v rozsahu 0–30 A, a doporučujeme také, aby disponovaly ochranou proti přehřátí, zkratu a přetížení.

Další vybavení laboratoře bude do velké míry závislé na zamýšleném rozsahu experimentů a proměnných, které budou sledovány. Lze např. pořídit další *laboratorní zdroje* (vč. programovatelných) pro stolní experimenty s barevnými preferencemi řidičů (viz kap. 4.1), stropní *projektor* pro promítání podnětů na čelní stěnu laboratoře (viz výše), *ozvučení místnosti* a jiné. V minimální výbavě by však mělo být počítáno s následujícím:

- *stolní počítač s monitorem nebo notebook* pro záznam a integraci pořizovaných dat;
- *mobilní výškově nastavitelná tabule* s minimálním rozměrem 100×150 cm, kam mohou být např. umístěny standardní optotypy pro kontrolu zrakové ostrosti či kontrastní citlivosti v průběhu experimentu (na začátku – tzv. baseline, kdy jsou osvětleny pouze světlomety řidiče, a při/po oslnění světlomety „protijedoucího automobilu“), popř. jiný podnětový materiál, pakliže nebude možné nebo žádoucí využít projekci na čelní stěnu místnosti. Namísto tabule lze využít také *monitoru* o úhlopříčce min. 24" a s rozlišením min. 1920×1080 pixelů (pro umístění ve vzdálenosti max. 10 metrů od řidiče; pro větší vzdálenosti doporučujeme zvolit větší úhlopříčku i rozlišení), usazeného na výškově nastavitelném, mobilním stojanu; v případě využití LCD monitoru a např. digitálních optotypů (jejichž výhoda spočívá ve větší variabilitě prezentovaných podnětů) je ovšem nutné vzít v úvahu, že nesou vlastní zdroj světla, tj. je vhodné u nich naladit barevnou teplotu LCD podsvícení tak, aby odpovídala barevné teplotě aktuálně používaných světel „řidiče“;
- *zařízení pro sběr a software pro vyhodnocování psychofyziologických signálů* – vhodné je využití vícekanálových akvizičních jednotek v kombinaci s biopotenciálovými zesilovači a software, který umožňuje sledovat více signálů paralelně na stejné časové ose. Z komerčně dostupných se nabízejí např. přístroje typu BIOPAC® (na obr. 14 v podobě přístroje BIOPAC MP 36 používaného autory metodiky) s vlastním software pro analýzu dat. Tato zařízení jsou často modulární; konkrétní počet a typ modulů, popř. kanálů pro snímání jednotlivých údajů, opět záleží na požadovaných proměnných, které chceme sledovat, jako minimální řešení se ovšem nabízejí min. 4 kanály, a to pro akvizici:
 - EKG (elektrokardiogram),
 - vEOG (vertikální elektrookulogram – čili elektrofyziologická detekce mrkání),

- EDA (elektrodermální aktivita, čili vodivost kůže),
- a dechového úsilí (sloužící zároveň pro výpočetní odstranění artefaktů z EKG).

Uvedené signály slouží jako základní psychofyziologické indikátory stresu řidiče (viz kap. 3.2.2), který může ovlivnit jeho chování a tím i bezpečnost silničního provozu. Mají-li experimentátoři dostatečné zdroje, lze zaznamenávat např. také EEG signály přes standardní 10-20 systém (avšak v našem případě použitý systém BIOPAC MP 36 nedisponuje dostatečným počtem kanálů pro využití všech svodů v systému 10-20) aj.



Obr. 14: Přístroj BIOPAC MP 36 se zapojenými svody pro EKG, vEOG, EDA a dechové úsilí

Zdroj: archiv autorů

Kromě výše popsaného vybavení bylo ve výzkumu autorů využito také výše zmíněných *luxmetrů* upevněných na stojanu ve výšce očí řidiče, které umožňovaly kontinuálně zaznamenávat množství světla přibližně dopadajícího do očí řidiče. Tyto údaje byly přes vlastní software propojeny s akviziční jednotkou psychofyziologických signálů (BIOPAC), což umožnilo na jednotné časové ose sledovat/kontrolovat, kdy a při jaké úrovni osvětlení dochází u řidiče k psychofyziologickým projevům stresové reakce. Kromě toho měl „řidič“ k dispozici *tlačítko*, které stiskl tehdy, když se cítil subjektivně oslněn, tj. proto, aby v časovém signálu zvýraznil okamžik oslnění. Instalaci obou zařízení lze doporučit, neboť takto získané signály slouží jako nezávislé indikátory okamžiku oslnění, který je možné následně využít při analýze jednotlivých psychofyziologických signálů jako bod počátku stimulace (který je jinak nutno zaznamenávat ručně experimentátorem do akvizičního software).

V případě, že je to v možnostech experimentátorů, lze měření dále doplnit o údaje z *eyetrackingu* (stacionárního, umístěného před pozorovatelem, nebo ve formě brýlí), sledujícího oční pohyby, popř. velikost zornice pozorovatele-řidiče. Ze zkušenosti autorů je však problematická kalibrace těchto zařízení v podmínkách *a priori* nízkou hladinou osvětlení a především tehdy, má-li účastník (řidič) nasazen vlastní dioptrické brýle. Stejně

tak může být problematická synchronizace, resp. integrace záznamu z eyetrackeru se záznamy z akviziční jednotky na stejné časové ose, to však záleží na použitém HW a SW. Z těchto důvodů je použití eyetrackeru na zvážení konkrétních experimentátorů.

Pro statistickou analýzu psychofyzilogických údajů a jejich propojení s dalšími proměnnými na straně řidiče, světelných vzorků či sledované situace je také vhodné disponovat *software pro statistickou analýzu dat* (např. MATLAB, SPSS, Statistica, R, aj.) s příslušnými funkcemi či moduly dle požadovaného typu analýz, pakliže tyto analýzy nebudou delegovány na specializovaná pracoviště či oddělení.

4.3 Sledované reakce řidičů na oslnění

V této části nejprve popíšeme proměnné (reakce), které lze u řidičů sledovat v důsledku oslnění, a principy jejich vyhodnocování. V následující kapitole pak budeme prezentovat modelový postup testování (experimentu), který byl využit v našem vlastním výzkumu s tím, že tento postup lze dále uzpůsobit v závislosti na tom, jaké další proměnné chtějí experimentátoři vyhodnocovat.

4.3.1 Změny ve zrakové ostrosti a kontrastní citlivosti

K tomuto účelu mohou být použity standardní optotypy (např. Snellenovy optotypy pro zrakovou ostrost, Pelli-Robsonův test pro kontrastní citlivost) v papírové formě umístěné na mobilní tabuli (viz kap. 4.2), nebo LCD monitor a software k prezentaci těchto optotypů (tamtéž). Výhodou papírových optotypů je jejich nízká pořizovací cena a skutečnost, že je lze bez problémů nasvítit světlomety „řidiče“, aniž by vykazovaly vlastní „parazitní“ světlo (jako v případě LCD monitoru). Nevýhodou papírových optotypů je riziko tzv. zácviků, tj. že při opakovaném čtení si účastník znaky zapamatuje. To je potřeba brát v potaz při designování experimentu (určování počtu zkoumaných světelných vzorků a pořadí jejich prezentace, viz kap. 4.4) a především při jeho vyhodnocování.

Pro srovnatelnost se standardní testovou situací u očního lékaře lze optotypy umístit do vzdálenosti, pro niž jsou dimenzovány (je vždy uvedena v návodu k použití optotypu) – v případě papírových optotypů typicky 3 metry či 6 metrů od „řidiče“. Pro digitální optotypy může být jejich velikost nastavena v závislosti na požadované vzdálenosti od „řidiče“ tak, aby odpovídala standardnímu výpočtu zrakové ostrosti/ kontrastní citlivosti. (Popis vyhodnocení optotypů bývá typicky součástí jejich návodu k použití a většinou se opírá o počet korektně identifikovaných znaků.) Při umístění (papírových) optotypů do jiné vzdálenosti, než pro kterou jsou dimenzovány, je nutné tuto vzdálenost držet konstantní napříč účastníky

experimentu (s tím, že se bude jednat o experimentální měření, jehož výsledky nemusejí odpovídat zjištěním očního lékaře). V obou případech nicméně bude vhodné (resp. nutné) zjistit také výchozí hodnoty zrakové ostrosti/ kontrastní citlivosti (tj. množství správně přečtených znaků účastníkem) před oslněním, tj. na začátku experimentu, kdy budou tyto optotypy nasvíceny pouze světlomety „řidiče“.

4.3.2 Změny v kožní vodivosti

Elektrodermální aktivita (EDA) je obecný pojem, který zastřešuje celou řadu dílčích metod majících za cíl charakterizovat elektrické vlastnosti kůže. Ty jsou dány jednak málo vodivou vrstvou zrohovatělých buněk, a jednak přítomností potních žláz, jejichž sekret (pot) může v krátké době kůži zvlhčit, a tím významně snížit její elektrický odpor. Pro využití metod EDA je zásadní aktivita ekrinních žláz, které vylučují pot v závislosti na stupni aktivace sympatiku. To se děje mj. v důsledku pocíťovaného stresu (Andreassi, 2006).

Měření kožní vodivosti lze rozdělit na několik větví (Cacioppo et al., 2007):

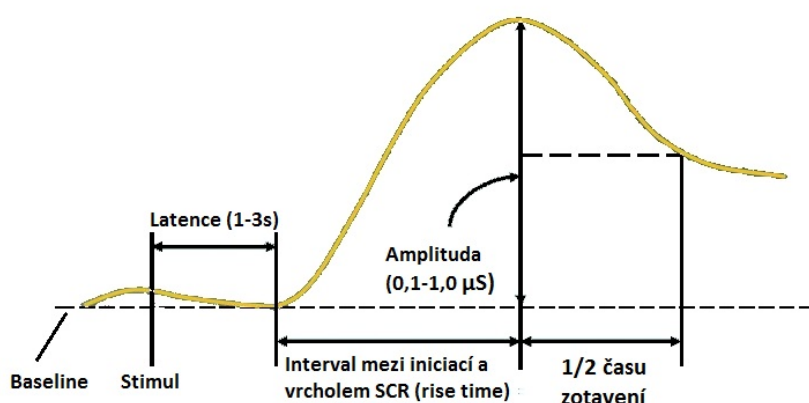
- exosomatickou, kdy měříme *kožní vodivost* (SC – skin conductance; jednotkou je μS), přičemž můžeme zjišťovat:
 - tonickou (bazální) aktivitu – hladinu kožní vodivosti *SCL* (*skin conductance level*), typicky se pohybuje mezi 2–20 μS , nebo
 - fázickou odezvu kožní vodivosti na podnět – *SCR* (*skin conductance response*), typicky mezi 0,05–5 μS , která se objeví s latencí cca 1–3 sekundy po podnětu; a dále
- endosomatickou, kdy měříme *kožní potenciál* (SP – skin potential, jednotkou je mV), opět ve variantě tonické (*SPL* – *skin potential level*, 0–60 mV) nebo fázické (*SPR* – *skin potential response*, 0,1–10 mV).

V praxi se častěji vyskytuje měření exosomatické; proměnné, které bývají nejčastěji v rámci výzkumů elektrodermální aktivity sledovány, shrnuje Tabulka 2 (volně dle Andreassi, 2006, a Cacioppo et al., 2007).

Proměnná	Výklad	Typické hodnoty
Kožní vodivost SCL	Tonická úroveň kožní vodivosti	2–20 μS
Změna v SCL	Změna v SCL mezi body v čase	1–3 μS
Frekvence NSSCRs	Frekvence nespecifických odpovědí	1–3/min.
Amplituda SCR	Zvýšení amplitudy po podnětu	0,1–1,0 μS
Latence SCR	Interval mezi stimulem a zahájením odpovědi	1–3 s
SCR „rise time“	Interval mezi iniciací SCR a vrcholem SCR	1–3 s
½ zotavovací fáze (recovery time)	Interval mezi vrcholem SCR do 50 % amplitudy	2–10 s
Habituační SCR k podnětu	Počet stimulů do habituace	2–8 stimulů
Habituační SCR	Stupnice změny amplitudy	0,01–0,5 μS /stimul

Tab. 2: Proměnné zjišťované v rámci EDA a jejich typické hodnoty (dle Andreassi, 2006, a Cacioppo et al., 2007)

Při zjišťování reakcí na oslnění je logické zaměřit se na fázickou odezvu kožní vodivosti – SCR. Pro lepší přehlednost uvádíme typický průběh této reakce na obr. 15.



Obr. 15: Průběh reakce SRC na podnět

Zdroj: archiv autorů

Pokud chceme mezi sebou srovnávat různé zdroje světla/ typy světlometů z hlediska reakce řidičů na ně, má smysl zaměřit se na srovnání velikosti amplitud SCR. S ohledem na typické časy latence, rise time a zotavovací fáze doporučujeme analyzovat amplitudy reakcí, které se objeví do 8 sekund po prezentaci stimulu, aby se předešlo zahrnutí artefaktů (spontánních reakcí); v tomto ohledu je vhodné podrobit data také vizuální inspekci, aby nedošlo k automatickému zahrnutí artefaktů. Do analýzy zároveň doporučujeme zahrnovat amplitudy o velikosti min. 0,1 μS (spočteno jako rozdíl mezi hodnotou na vrcholu SCR a minimální hodnotou při iniciaci dané vlny). Pokud by záznam obsahoval vysokofrekvenční šum a/nebo postupné narůstání hodnoty baseline (např. při opakovaném oslnění, kdy se tonická úroveň

kožní vodivosti před každým dalším oslněním nevrátí do výchozích hodnot, zjištěných na počátku experimentu), doporučujeme aplikovat 0,05–1 Hz band-pass filtr. Pro návaznou statistickou analýzu pomocí parametrických metod může být také vhodné aplikovat logaritmickou transformaci získaných hodnot amplitud SCR, a to zvláště tehdy, pokud tyto hodnoty nebudou v souboru vykazovat normální rozložení.

Co se týče samotného zjišťování odezvy kožní vodivosti, provádí se typicky za pomoci běžných Ag/AgCl elektrod (jednorázových, či na více použití), potřených vodivým gelem (stejným jako např. pro měření EKG) a zapojených bipolárně, umístěných nejsnáze mezi první a druhý článek ukazováku a prostředníku levé či pravé ruky (viz obr. 16). Při tomto umístění se kůže pod elektrodami předem neočišťuje (neobrušuje abrazivním gelem), účastník by ovšem neměl před měřením na ruce aplikovat krém.



Obr. 16: Umístění elektrod pro měření SCR

Zdroj: archiv autorů

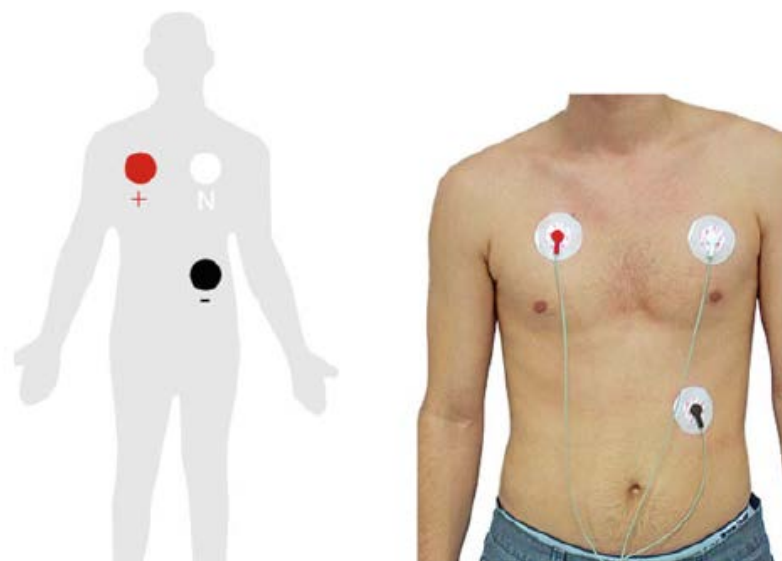
Při samotném měření a jeho následném vyhodnocování je také nutno kontrolovat, že signál nevypadává (např. kvůli odchlípnutí elektrod) a udržovat v místnosti pokud možno konstantní *teplotu, vlhkost* a úroveň *hluku*. Tyto veličiny mohou ovlivňovat získané hodnoty. Podobně je vhodné účastníka před měřením teplotně stabilizovat (např. neměřit ihned poté, co přijde ze zimy/horka) a instruovat ho, aby během probíhajícího měření nemluvil. I navzdory těmto opatřením je potřeba počítat se skutečností, že ne všechna získaná data půjde zahrnout do analýzy – elektrodermální aktivita se projevuje napříč populací různým způsobem, přičemž až 10 % jedinců v populaci může být hyporesponzivních. Rozdíly v reakcích je možné

pozorovat rovněž mezi pohlavími, přičemž na samotné měření může mít vliv i fáze menstruačního cyklu nebo věk. I z tohoto důvodu doporučujeme získat dostatečně početný (ideálně $n > 50$ osob, rozhodně ale větší než 10 osob) a variabilní výzkumný soubor co do zkoumaných charakteristik (viz kap. 4.1) a využívat opakovaná měření.

4.3.3 Změny v srdeční frekvenci

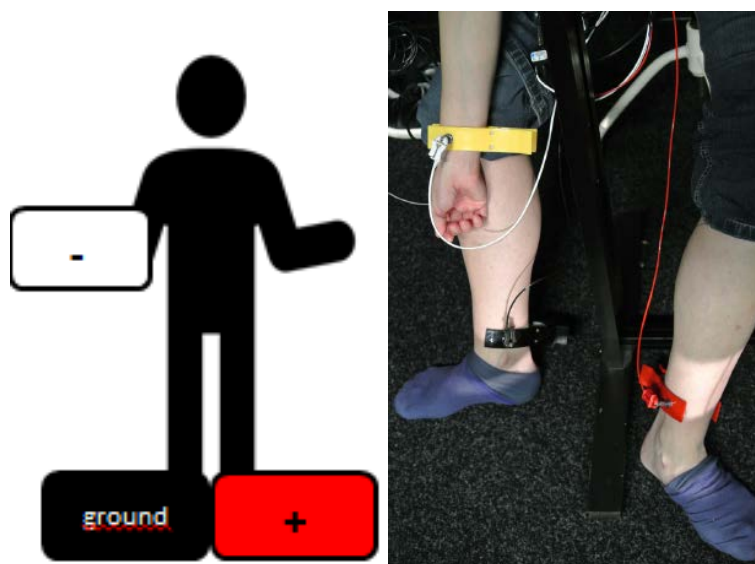
Elektrokardiografie (EKG) patří mezi základní vyšetřovací metody v kardiologii a poskytuje grafický záznam elektrické aktivity srdce. V kontextu předložené metodiky není hlavním cílem analyzovat samotný tvar průběhu křivky, nýbrž stanovit variabilitu tepové frekvence (HRV – heart rate variability). Tu lze z EKG křivky snadno určit pomocí R-R intervalu mezi dvěma sousedícími PQRS komplexy (Andreassi, 2006; Cacioppo et al., 2007). Pro psychofyzilogická měření stresové reakce s využitím HRV se vyhodnocuje poměr nízkých (LF) a vysokých (HF) frekvencí ve výkonové spektrální hustotě (tato analýza typicky bývá součástí specializovaných software, dostupných s akviziční jednotkou, viz kap. 4.2). Za nízké frekvence je považována oblast 0,04–0,15 Hz, zatímco za oblast vysokých frekvencí interval 0,15–0,4 Hz. Zvýšený stres se vyznačuje zkrácením R-R intervalu, a tedy nárůstem hodnoty poměru LF/HF, což ukazuje na výraznou aktivitu sympatického nervového systému během stresových period. Pro porovnání odezvy na oslnění různými světelnými zdroji/světlomety ve smyslu HRV tak můžeme porovnat poměry LF/HF při oslnění jednotlivými vzorky, přičemž vyšší hodnoty ukazují na vyšší úroveň stresu. K odstranění artefaktů způsobených pohybem účastníka (během testové situace člověk nevydrží sedět naprosto nehnutě) doporučujeme aplikovat 5–35 Hz band-pass filtr a podrobit data ještě dodatečné vizuální inspekci.

Vlastní měření EKG křivky může probíhat buď za pomoci Ag/AgCl elektrod přilepených na hrudi (viz obr. 17), nebo – což může být uživatelsky příjemnější – za pomoci klipsových elektrod připojených na končetinách (viz obr. 18), kdy je plocha elektrody umístěna na zápěstí a kotníky. Konkrétní umístění elektrod (+, -, uzemnění – ground) se v našem případě odvíjí od skutečnosti, že na levé ruce účastníka jsou zároveň umístěny elektrody snímající EDA – proto je umístění zemnicí elektrody na kotníku, a nikoliv na zápěstí levé ruky. Před umístěním elektrod na kůži je na rozdíl od EDA potřeba kůži nejprve očistit abrazivním gelem (např. pomocí malé kuchyňské houbičky otíráme danou plochu do mírného zarudnutí kůže). Následně je opět na elektrody aplikován vodivý gel.



Obr. 17: Připojení elektrod pro měření EKG

Zdroj: Aziz et al. (2014, s. 215)



Obr. 18: Připojení elektrod pro měření EKG – na končetinách

Zdroj: archiv autorů

4.3.4 Změny v dechové frekvenci

Jak již bylo řečeno dříve, měření dechové frekvence slouží zejména pro filtraci EKG signálu. S nádechem typicky tepová frekvence stoupá, s výdechem klesá. Údaje o změnách rychlosti (počtu nádechů v daném časovém úseku), délky trvání (nádechu či výdechu), či hloubky dechu (spočítané jako rozdíl mezi vrcholem a nejnižším bodem náběžné hrany nádechu, podobně jako u výpočtu velikosti amplitudy HRV) lze ovšem využít i jako další indikátory stresové reakce. Jelikož však většinou bývají zjišťovány spolu s EKG, pro indikaci stresové

reakce postačuje zpravidla vyhodnotit HRV (viz výše), jež je ve výsledku o něco jednodušší i z hlediska interpretace.

Na rozdíl od klinického settingu, kde jsou dechové parametry typicky zjišťovány za pomoci spirometrie, se laboratorní psychofyziologické experimenty omezují na údaje o roztažení a stažení hrudníku, získávané typicky z hrudního pásu (jako u některých sporttesterů) (Cacioppo et al., 2007). Ten je umístěn nad prsa tak, aby se jeho senzor nacházel ve středu hrudníku (na hrudní kosti), a musí být správně utažen, což je nutno zkontrolovat na záznamu před započítáním experimentu – pás by neměl účastníka tlačit ani omezovat, ale pokud bude záznam vykazovat příliš plochou linii, je potřeba při výdechu pás dotáhnout.

4.3.5 Frekvence mrkání

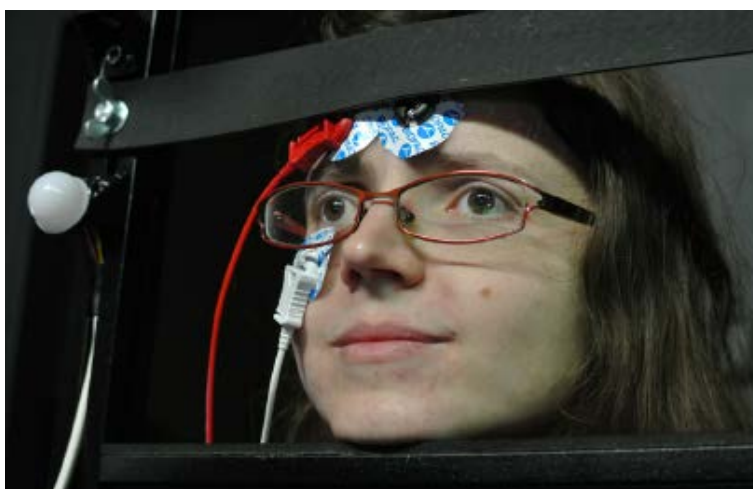
Frekvence mrkání, podobně jako amplituda mrkání, relativní průměr zornice a další parametry související přímo s okem mohou sloužit jako další indikátor vizuální nepohody a stresu. Jejich změny v důsledku přítomnosti oslnění však byly doposud zkoumány převážně v kancelářském settingu, v souvislosti s aktivitami (typicky čtením) vykonávanými na počítači, jehož monitor je sám dalším zdrojem světla (Hamedani et al., 2019, 2020). Přenositelnost těchto zjištění pro skotopické, resp. mezopické vidění (jaké nastává při řízení v noci) je tak omezená. Dle literárního review Hamedani et al. (2019) jsou studie, které vyšší míru oslnění spojují s vyšší frekvencí mrkání (která ovšem naopak klesá při nízkém kontrastu podnětů), vlastní výzkum autorů (Hamedani et al., 2020), jakož i výsledky našeho výzkumu však ukazují, že při oslnění, které je subjektivně pociťováno jako nepříjemnější, frekvence mrkání slabě klesá. Aby mohly být tyto výsledky v budoucnu lépe podloženy v kontextu automotive, doporučujeme zařadit analýzu frekvence mrkání mezi proměnné zkoumané v souvislosti s oslněním.

Samotné měření lze provádět několika způsoby. Nabízí se analýza videozáznamu z kamery či eyetrackeru namířeného na oči participanta, kdy lze s pomocí předdefinovaných algoritmů či manuálně spočítat počet mrknutí za daný časový úsek (po oslnění). Tato metoda však nemusí být zcela přesná. Proto, je-li k dispozici akviziční jednotka psychofyziologických signálů s dostatečným počtem kanálů, lze mrknutí sledovat za pomoci elektrookulografie (EOG). Mezi významné artefakty EOG signálu patří mrkání, které ovlivňuje zejména vertikální EOG potenciál (vEOG), jedná se tedy fakticky o využití parazitního jevu metody pro měření hledaného signálu. (Lze samozřejmě sledovat také horizontální EOG k identifikaci „odklonění zraku“, jeho analýza by nicméně byla komplikovanější, neboť oči účastníků i přirozeně tékají

po scéně před nimi, a navíc by toto měření vyžadovalo další pár, resp. trojici elektrod a separátní kanál na akvizičním zařízení; proto budeme dále hovořit pouze o vEOG.)

K určení počtu mrknutí z vEOG signálu lze nejprve na záznam aplikovat 0,5 Hz high-pass filtr, následně pro každého účastníka spočítat průměrné rozdíly mezi minimem a maximem náběžné hrany amplitud vEOG a s jejich pomocí stanovit hranici, při které bude dané vychýlení identifikováno jako „mrknutí“, a konečně spočítat tato mrknutí ve stanoveném časovém úseku po oslnění. Ten byl v našem případě stanoven na 20 sekund, čili minimální délku intervalu mezi jednotlivými stimuly (oslnění týmž zdrojem), lze však použít interval (a tedy i prodlevu mezi jednotlivými stimuly) delší, např. až 1 minutu. To může také napomoci větší stabilizaci reakce. Délka intervalu, resp. sledovaného (analyzovaného) časového úseku by však měla být konstantní napříč účastníky výzkumu a testovanými světelnými vzorky, a měla by být jasně uvedena jakou součást popisu výzkumného postupu.

Samotné měření v EOG probíhá opět s využitím klasických Ag/AgCl elektrod, nalepených nad (+) a pod (-) oko účastníka tak, aby byly v jedné linii se zornicí při pohledu rovně dopředu. Třetí (zemnicí) elektroda je pak nalepena doprostřed čela (viz obr. 19). Podobně jako u měření EKG je potřeba kůži před nalepením elektrod očistit abrazivním gelem a pod elektrody nanést vodivý gel; následně je nutno na záznamu zkontrolovat, že se např. elektrody neodlepují a tedy signál je přenášen tak, jak má být (stačí instruovat účastníka, aby zamrkal, a pozorovat, zda se toto projeví na vEOG křivce).



Obr. 19: Umístění elektrod pro měření vEOG

Zdroj: archiv autorů

4.3.6 Subjektivní hodnocení ne/příjemnosti oslnění

Ačkoliv je psychofyzilogickou odezvu na oslnění možno považovat za „objektivnější“, subjektivní hodnocení ne/příjemnosti oslnění by nemělo být podceňováno, či přímo zanedbáváno. K jeho systematickému zaznamenávání lze využít do českého prostředí adaptovanou de Boerovu škálu (Viktorová et al., 2020; viz kap. 3.2.1), kdy účastník hodnotí právě proběhnuvší oslnění s pomocí 9stupňové škály. Slovní kotvy jsou k dispozici pro liché body, přičemž princip škály je účastníkovi vždy vysvětlen před započítím experimentu a může mu být připomenut i v jeho průběhu, popř. může být umístěn zřetelně na tabuli spolu s prezentovanými optotypy (viz kap. 4.3.1). Popisky oslnění jsou přitom následující:

1. nezaznamenatelné
2. –
3. slabé
4. –
5. přijatelné
6. –
7. rušivé
8. –
9. nesnesitelné

Při srovnávání výsledků tohoto hodnocení se zahraničními studiemi je nicméně potřeba brát v potaz, že původní polarita škály v originálním znění byla obrácená (tzn. 1 = nesnesitelné oslnění; 9 = nezaznamenatelné oslnění); to však bylo (nejen) pro české účastníky matoucí (viz i Tukhyova, 2015).

Zároveň se při tomto hodnocení oslnění z povahy věci jedná o inter-individuálně variabilní záležitost, kdy může být problematická už operacionalizace pojmu „oslnění“ tak, aby byla pokud možno jednotná a srozumitelná pro všechny účastníky. Při posuzování, které neprobíhá párově, tj. když je pokaždé prezentován pouze jeden typ zdroje oslnění najednou, mohou mít účastníci např. problém v zakotvení škály (tj. určení, co „ještě je“ a „už není“ „přijatelné“ oslnění). V našem výzkumu se ukázalo, že účastníci mají sklon srovnávat míru oslnění podle prvního vzorku, s nímž se v rámci experimentu setkají; aby tato skutečnost nezpůsobovala systematické zkreslení v datech, je nutné pořadí prezentace světelných vzorků náhodně variovat napříč účastníky. O variabilitě hodnocení oslnění v závislosti na demografických

a dalších charakteristikách účastníků, a tedy o nutnosti heterogenního výzkumného souboru, jsme již pojednávali v kap. 3.2.2 a dalších.

4.4 Modelový postup testování a design experimentu

Experimentální postup při hodnocení reakcí řidičů na oslnění různými světelnými zdroji/ typy světlometů by mohl být přibližně následující; lze samozřejmě doplnit sběr a analýzu dalších proměnných v závislosti na konkrétních výzkumných otázkách experimentátorů:

1. **Určení a proměření (fotometrické, kolorimetrické atp.) světelných vzorků/ světlometů**, které budou předmětem testování, a jejich montáž do karuselů tak, aby byly v přibližně stejné vzdálenosti a výšce jako na automobilu. Doporučujeme takto proměřit a usadit nejen světlomety „protijedoucího“ vozidla, ale také světlomety „řidiče“. Jako řidičovy světlomety doporučujeme využít již zavedené (tj. v praxi používané) světlomety, a to jednak s halogenovými žárovkami, a jednak s LED moduly (v barevném podání legální bílé barvy). U protijedoucího vozidla doporučujeme taktéž ponechat jako referenci světlomety s halogenovou žárovkou a reflektorem, neboť tyto se vzhledem k průměrnému stáří vozů v českém vozovém parku vyskytují nejčastěji. Lze samozřejmě testovat i více kombinací světelných zdrojů a konstrukčních řešení světlometů (reflektor vs. projekční soustava), je však potřeba mít na paměti, že s každým typem zdroje/světlometu na straně řidiče a protijedoucího vozidla narůstá počet kombinací, které bude potřeba u každého účastníka ověřit (např. 2 typy světlometů u řidiče [„halogen“, „LED“] X 2 typy světlometů u protijedoucího vozidla [„halogen“, „LED“] = 4 kombinace: halogen-halogen; halogen-LED; LED-halogen; LED-LED), čímž narůstá čas potřebný k měření a také únava účastníků; doporučujeme proto udržet celkovou dobu testování do 90 minut.
2. **Volba výzkumného designu a sledovaných proměnných.** Z hlediska uspořádání doporučujeme *vnitrosubjektový* design, kdy každý účastník zhodnotí všechny kombinace světlometů (přičemž u něj budou pokaždé sledovány reakce, resp. vybrané proměnné). S ohledem na předpokládané množství kombinací a čas k měření se jako úsporná, ale dostačující varianta jeví *nekompletní vnitrosubjektový plán*, kdy každý účastník absoluuje hodnocení jednotlivých kombinací v různém pořadí, každou kombinaci ovšem bude (na rozdíl od tzv. kompletního vnitrosubjektového plánu) hodnotit pouze jednou. Pořadí, v němž budou kombinace účastníkům prezentovány, pak budou napříč účastníky vyváženy tak, aby se každá kombinace v průběhu

experimentu vyskytla na každém pořadovém místě pokud možno stejně často, a ideálně také stejně často předcházela a následovala po ostatních kombinacích; při vyšším množství kombinací lze využít i tzv. *latinský čtverec* (viz Ferjenčík, 2008). Ilustraci tohoto principu, pokud bychom měli dva typy světlometů řidiče a dva typy světlometů protijedoucího vozidla, jako u příkladu výše, znázorňuje Tabulka 3:

Číslo účastníka	1. kombinace	2. kombinace	3. kombinace	4. kombinace
1	halogen-halogen	halogen-LED	LED-halogen	LED-LED
2	halogen-LED	LED-LED	halogen-halogen	LED-halogen
3	LED-halogen	halogen-halogen	LED-LED	halogen-LED
4	LED-LED	LED-halogen	halogen-LED	halogen-halogen

Tab. 3: Princip latinského čtverce pro pořadí prezentace kombinací světlometů napříč účastníky

3. **Výběr výzkumného souboru.** Jak již bylo zmíněno výše (kap. 4.1 a další), pro výzkum hodnocení oslnění z pohledu řidičů je z hlediska zobecnitelnosti výsledků vhodné získat dostatečně početný (ideálně $n > 50$ osob, rozhodně ale větší než 10 osob; doporučujeme min. $n = 20$ osob) a variabilní výzkumný soubor co do charakteristik řidičů, s rovnoměrným zastoupením mužů a žen a všech věkových kategoriích, vč. osob 65+ let (zjednodušeně lze počítat min. s 1 mužem a 1 ženou na každou věkovou dekádu, vč. kategorie do 20 let). Zastoupeny by také měly být různé charakteristiky zraku (bez vad vs. s vadami atp.) a ideálně i situační charakteristiky (např. řízení denně vs. 1× do týdne či méně). Nedoporučujeme ovšem zahrnutí osob s diagnózou epilepsie či jiných onemocnění a poruch, u kterých lze předpokládat přecitlivělost na světelné podněty. Výzkumný soubor by měl každopádně být dobře popsán ve výzkumné dokumentaci tak, aby bylo možné usuzovat na míru zobecnitelnosti získaných poznatků (např., zda se nebudou týkat pouze mužů do 40 let, pouze řidičů z povolání atp.). S každým účastníkem také doporučujeme před započetím výzkumu podepsat Informovaný souhlas s účastí ve výzkumu, v němž budou uvedeny minimálně:

- základní informace o výzkumu a jeho průběhu, vč. upozornění na případná rizika;
- údaje, které budou o účastnících zpracovávány, účel a způsob zpracování údajů;
- správce údajů a doba, po kterou budou údaje uchovávány;
- práva účastníků (např. odstoupit od výzkumu, atp.);
- datum a podpis účastníka.

4. **Zjištění výchozích hodnot (baseline) sledovaných proměnných.** Po uvítání účastníka ve výzkumných prostorách a vysvětlení základních informací o účelu a průběhu výzkumu („co ho čeká“ a přibližný časový rámec; v tomto momentě může také dojít k podpisu Informovaného souhlasu) je vhodné zjistit a do předem připraveného záznamového listu zaznamenat jeho řidičskou a zrakovou anamnézu (viz kap. 4.1). Lze také provést orientační vyšetření barvocitu např. za pomoci Stilling-Velhagenových tabulek či další vyšetření nevyžadující předchozí adaptaci na tmu. Pokud má být součástí výzkumu také ověřování barevných preferencí řidičů za pomoci nasvícených fotostanů (viz kap. 4.2), je potřeba na tuto část výzkumu v místnosti zhasnout. Poté je možné účastníka posadit za stojan pro řidiče a připojit jej za pomoci elektrod a kabeláže k akviziční jednotce (viz kap. 4.3.). Je vhodné ověřit, že elektrody správně doléhají a vysílají potřebný signál. Zároveň je vhodné účastníka instruovat o dalším postupu; instrukce může vypadat např. následovně:

„Ted' asi tušíte, že půjde o oslnění. Za chvíli na X minut zhasnu, aby se Vaše oči mohly adaptovat na tmu, ale předtím si vysvětlíme další postup. Máme tu několik světlometů, budeme je prezentovat postupně, v různých kombinacích. Vaším úkolem bude opřít se bradou o tuto opěrku [ukázat] a dívat se rovně před sebe, jako při řízení.¹ Při tomto úkolu prosím nemluvte. Dám Vám také do pravé ruky tlačítko, které zmáčknete pokaždé ve chvíli, kdy ucítíte oslnění – světlo v očích. Ted' si to můžete nanečisto vyzkoušet. [ověřit záznam signálu z tlačítka v akviziční jednotce] Zároveň se Vás po každém bloku oslnění zeptám, jak moc bylo toto oslnění nepříjemné. Můžete odpovídat na škále 1 až 9, kdy 1 znamená „nezaznamenatelné“ oslnění, trojka „slabé“, pětka „přijatelné“, sedmička „rušivé“ a devítka „nesnesitelné“. Takže čím vyšší číslo, tím nepříjemnější pro Vás oslnění je. Nebojte se, škálu Vám mohu po každém bloku znovu přechíst. Ted' půjdu zhasnout.“

Následně je nutné nechat účastníka adaptovat na tmu, tj. zhasnout veškeré zdroje světla v místnosti; délka adaptace by měla činit minimálně 5 minut a měla by být pro všechny účastníky stejná. Poté je vhodné zapnout první ověřované světlomety řidiče (viz Tab. 3) a zjistit výchozí hodnoty (počet korektně určených znaků) zrakové ostrosti

¹ Je také možné nechat účastníka sledovat konkrétní scénu promítanou projektorem na zeď, a tím ho vystavit určité míře kognitivní zátěže. Při tomto postupu je ovšem nutné brát v potaz, že účastník může psychofyziologicky reagovat na podněty z této scény (namísto na samotné oslnění), prezentovaná scéna by tak měla být pokud možno monotónní, bez náhlých změn.

a kontrastní citlivosti řidiče za těchto podmínek, tj. v situaci, kdy je scéna osvětlena pouze jeho vlastními světlomety. Následně lze zapnout první ověřované světlomety „protijedoucího vozidla“ nastavené do výchozí polohy tak, aby řidiče zatím neoslňovaly. Je vhodné zkrátit zopakovat účastníkovi instrukci (opření brady, pohled před sebe, nemluvit, stisknutí tlačítka ve chvíli, kdy se bude cítit oslněn) a nechat ho 30–45 sekund sledovat prostor před sebou, přičemž lze zaznamenávat výchozí hodnoty jeho psychofyziologické odezvy (EDA, EKG, vEOG, dech).

5. **Zjišťování reakcí na oslnění.** Po uplynutí výchozího časového intervalu (délka trvání 30–45 sekund je variabilní z toho důvodu, aby se účastník při opakovaném měření nenaučil předpovídat moment oslnění) lze přistoupit k oslnění účastníka. To může probíhat prostým naklopením karuselu „protijedoucího vozidla“ tak, aby světla „přejela řidiči přes oči“ (což lze ověřit vizuálně, popř. i luxmetry umístěnými na stojanu řidiče ve výši jeho očí).² Doba, po kterou bude řidič oslněn (tj. světlo mu bude svítit přímo do očí), by měla činit 3 sekundy.³ Následně je potřeba ponechat interval min. 30 sekund, kdy bude řidič bez vyrušení (a bez oslnění) opět hledět přímo před sebe (kvůli nástupu a stabilizaci psychofyziologické odezvy), načež je možné jej znovu oslnit tímž zdrojem. Pro ošetření případné ztráty dat doporučujeme oslnění jedním zdrojem/ typem světlometu zopakovat min. 3× při zachování časových rozestupů (min. 30 sekund) mezi jednotlivými oslněními, neboť řidič nemusí pokaždé korektně zareagovat (zapomene zmáčkнуть tlačítko, objeví se artefakt v signálu atp.). Po posledním oslnění vyrovnejte světla do výchozí (neoslňující) polohy a ponechte minimální interval 5 minut, aby šlo spolehlivě spočítat HRV. Poté lze světlomety „protijedoucího vozidla“ vypnout a dotázat se řidiče na subjektivní hodnocení míry oslnění (pomocí 9bodové škály, slovní kotvy lze zopakovat). Následně by mělo dojít ke kontrole zrakové ostrosti a kontrastní citlivosti pomocí optotypů, osvětlených opět pouze světlomety řidiče. Poté může být připravena další kombinace světlometů a postup zopakován, s tím, že baseline zrakové ostrosti a kontrastní citlivosti se v této chvíli již nezjišťuje (neboť řidič právě optotypy dočetl). Výjimkou je situace, kdy dojde k výměně světlometů řidiče za typ, u kterého doposud nebyla výchozí hodnota

² Pokud mají experimentátoři zájem využít také možnosti dopředného pohybu karuselu, pak by k naklopení (oslnění) mělo docházet pokaždé ve stejném, předem určeném bodě dráhy.

³ Dle zjištění výzkumné skupiny GRE (Westermann, 2002) trvá oslnění v důsledku nerovností na silnici či přejezdu horizontu v průměru 1 až maximálně 3 sekundy. Ačkoliv dle jejich závěrů hodnocení míry oslnění nesouvisí s délkou jeho trvání, účastníci našeho výzkumu spontánně reportovali, že oslnění „nebylo tak zlé, protože netrvalo dlouho“ (byl použit interval 1 sekundy). Doporučujeme proto zvolit horní hranici 3 sekund.

zjišťována (např. místo halogenové žárovky začne řidič svítit LED, přičemž optotypy ještě s pomocí LED světlometů osvětlené neměl; v tu chvíli má smysl zjišťovat, kolik znaků korektně určí při tomto typu osvětlení). Řidič by po celou dobu trvání experimentu neměl vědět (tj. experimentátor by neměl používat názvy světelných zdrojů atp.), jaké světlometry jsou právě testovány, aby nedošlo k nevědomému zkreslení jeho hodnocení (např. kvůli preferenci LED/halogen).

6. **Vyhodnocení experimentu.** Na závěr testování každého účastníka je vhodné provést debriefing, tj. zeptat se na jeho dojmy z experimentu a poznačit si případné doplňující informace k hodnocení světlometů – ty mohou sloužit jako další podněty pro vývojáře a relevantní stakeholdery. Poté by mělo dojít k individuálnímu vyhodnocení psychofyzilogických proměnných (viz kap. 4.3), a to zvlášť pro každé jednotlivé oslnění a účastníka. K tomu bude potřeba stanovit stabilní časový úsek následující po jednotlivém oslnění, v němž budou data analyzována; s ohledem na odezvu psychofyzilogických reakcí (a také prodlevu mezi jednotlivými oslněními, viz výše) doporučujeme délku tohoto úseku stanovit min. na 20 sekund (ovšem pro každého účastníka a situaci oslnění stejně). Výsledné hodnoty by měly být přeneseny do datové matice, kde bude v separátních sloupcích uvedeno:
- a. číslo účastníka;
 - b. pořadí oslnění (první, druhé, třetí, atp.);
 - c. kombinace světlometů (sloupec pro světlo řidiče a sloupec pro světlo protijedoucího vozidla);
 - d. naměřené hodnoty jednotlivých proměnných (počet mrknutí, SCR,...).

Následně bude nutné data zkontrolovat a příp. pročistit, pokud budou např. u některých měření shledány artefakty, poruchy v záznamu atp.; tato data bude potřeba z analýzy vyloučit. Vzhledem k tomu, že subjektivní hodnocení míry oslnění se bude při tomto výzkumném postupu vztahovat na celý „blok“ (například tři) po sobě následujících oslnění týmž světlometem (resp. kombinací), bude vhodné také spočítat průměrnou hodnotu sledovaných veličin za celý daný blok oslnění (tj. pro danou kombinaci světlometů). Výsledné záznamy bude následně možné integrovat s tabulkou, v níž budou zaneseny další údaje o účastnících (demografické charakteristiky, charakteristiky zraku atp.). K jejich statistickému vyhodnocení pak doporučujeme využití lineárních mixed-effect modelů, kde bude proměnná „účastník“ zanesena jako náhodný (random effect) vnitrosubjektový faktor (neboť půjde o data

z opakovaných měření) a pořadí prezentace jako kovariát. Doporučujeme výpočet modelu pro každou závislou proměnnou (SCR, počet mrknutí, LF/HF ratio,...) zvlášť. Zároveň z hlediska statistické síly testu doporučujeme minimalizovat počet nezávislých proměnných v modelu (nad rámec typu „řidičova“ a „protijedoucího“ světlometu a jejich interakce), zvlášť v případě málo početného výzkumného souboru ($n < 20$). Výzkumná dokumentace by pak měla obsahovat popis analyzovaných proměnných, použitých metod analýzy dat a jejich výsledků, jakož i souhrnné údaje o účastnících a analyzovaných světelných vzorcích.

Zde uvedený postup je vhodný ke srovnání reakcí řidičů na oslnění různými zdroji světla/typy světlometů mezi sebou, a to především ve stádiu jejich vývoje. Může tak být využit interně výrobcí automobilových světlometů, případně v rámci aplikovaného výzkumu v akademické sféře, přičemž v obou případech jej lze modifikovat v závislosti na dalších výzkumných otázkách experimentátorů. Stanovení absolutních „ne/přípustných“ hodnot psychofyzilogické odezvy na oslnění je z principu nemožné, neboť reaktivita každého člověka je individuální (stejně jako např. jeho „normální tělesná teplota“); lze ovšem sledovat a analyzovat relativní nárůsty v závislosti na oslnění různými typy světlometů. Zanedbáno by nemělo být ani subjektivní posouzení, a je-li nějaký zdroj/typ světlometu nadpoloviční většinou účastníků hodnocen hůře než jako „přijatelný“, silně doporučujeme zvážit jeho modifikaci (v případě LED zdrojů např. volbou jiného světelného binu).

5. Vyjádření k novosti postupů

V současnosti se výroba automobilových světlometů a používání světelných zdrojů v nich, jakož i další technické parametry vozidel, řídí v Evropě předpisy UNECE (United Nations Economic Commission for Europe; zkráceně ECE), z nichž k nejpodstatnějším s ohledem na automobilové světlomety patří Předpis č. 48 – Jednotná ustanovení pro schvalování typu vozidel z hlediska montáže zařízení pro osvětlení a světelnou signalizaci (ve znění následných revizí a dodatků). Ten upravuje především umístění světlometů na vozidle, jejich fotometrické a kolorimetrické parametry (např. vymezení souřadnic jednotlivých barev, které jsou přípustné, geometrickou viditelnost aj.), přičemž se – jakož i další související předpisy ECE – snaží regulatorně řešit kompromis mezi viditelností a minimalizací oslnění pomocí definice osvětlení v konkrétních měřicích bodech světelné distribuce. Mezi ty pak patří zejména 75R a B50L, které definují dosvit a oslnění protijedoucího řidiče.

Kořeny těchto regulací spadají do 60. let 20. století; normy, ze kterých se vychází pro definování spektrální citlivosti lidského oka, pak spadají do 30.–40. let 20. století. Vznikaly tedy v dobách, kdy neexistovaly LED zdroje, ani povědomí o nevizuálních funkcích oka a jeho napojení na další mozková centra, která přímo nezpracovávají obraz (ale např. řídí cirkadiánní rytmy). Samotné základní vzorce pro výpočet hodnot rušivého a omezujícího oslnění jsou empirické, vycházejí ovšem ze zkušeností nemnoha pozorovatelů, které výzkumníci získali v 70. letech 20. století (tedy opět v době, kdy se běžně na silnicích ani jinde nevyskytovaly LED zdroje). Experimenty tehdy byly zpravidla psychofyzikální a hodnocení probíhala s využitím subjektivních škál.

Je evidentní, že tento způsob je nedostačující, pokud je záměrem komplexně zhodnotit odezvu člověka na podněty obsahující výrazný pík v modré části spektra, kterým disponuje většina moderních LED zdrojů. Výzkumy v této oblasti vznikají teprve v posledních několika letech, přičemž autoři začali svůj projekt realizovat 1. 1. 2019. Mezinárodní komise pro osvětlování CIE publikovala své vlastní výsledky obdobných experimentů v červnu 2019 (Iodice et al., 2019). Avšak ani CIE neprováděla analýzu změn v kožní vodivosti, stejně jako neprováděla své experimenty přímo s automobilovými světlomety v situaci simulující noční silniční provoz. Na druhé straně autoři studií zaměřených na oslnění v silniční dopravě (obzvláště pak s nástupem HID a LED zdrojů) naopak ve svých výzkumech nevyužívali psychofyziologická měření prakticky vůbec (Bullough et al., 2002; Flannagan et al., 2014; Neuman, 2014; Sivak et al., 2004, aj.).

Předkládaná metodika je tedy nová v tom smyslu, že navrhuje empiricky podložený postup, jak při vývoji automobilových světlometů systematicky ověřovat reakce řidičů na oslnění těmito světlomety, a to jak z pohledu subjektivního hodnocení, tak z pohledu objektivních (psychofyzilogických) reakcí. Oba pohledy jsou přitom důležité faktory, které ve výsledku mohou ovlivnit chování řidiče v nočním provozu a tím i bezpečnost silniční dopravy.

6. Ekonomické aspekty

Aplikace LED technologie v osvětlování přinesla řadu ekonomických a ekologických benefitů, přičemž jedním z nejčastěji vyzdvihovaných je energetická účinnost LED zdrojů, vyjadřovaná v jednotkách lm/W. LED zdroje mají ale zároveň jiné složení vyzařovaného barevného spektra, které má vrchol v modré části a výrazně se liší od barevného složení zdrojů, na které bylo lidské oko doposud navyklé (Slunce, halogenové žárovky). Automobilový průmysl využívá i této charakteristiky LED zdrojů jako marketingového nástroje, kdy „modrý nádech“ světel (byť v rámci zachování požadavků na legální bílou barvu, definovanou předpisy ECE) bývá spojován s přídavnými jmény jako „moderní“, „nový“, „luxusní“ apod. Hodnocení barevného podání a dalších aspektů vyvíjených světlometů samotnými koncovými uživateli, tj. řidiči, ovšem zpravidla neprobíhá. Na druhé straně i v souvislosti s výzkumy účinků modrého světla na lidský organismus u řidičů vzniká poptávka po filtrech modrého světla. Řidiči si tak kupují poměrně drahé brýle, které jsou opatřeny speciálními vrstvami, které zeslabují množství modrého světla, které dopadá na jejich sítnici. Výsledkem je paradoxní situace, kdy každá snaha o modřejší světlo je vykoupena tím, že někteří řidiči mají tuto část světla filtrovanu brýlemi. Tím se vytvářejí další náklady a prohlubuje se uhlíková stopa, protože tyto brýle a zejména jejich vrstvy musí někdo vypočítat, vyrobit a výrobky nějakým způsobem ke koncovému zákazníkovi také dostat. Světlo, které je odfiltrováno brýlemi, pak v podstatě představuje zbytečně promarněnou energii.

Pokud by si výrobci automobilů a automobilových světlometů, i samotní řidiči, v dostatečné míře uvědomovali jednotlivé dopady používaných světelných zdrojů a jejich barevného podání už ve fázi konstrukce světlometů, lze předpokládat, že by se ušetřilo množství zpětnovazebných smyček při ladění parametrů světlometů. I přes náklady investované do počátečního zřízení laboratoře, zajištění odborných pracovníků a provádění studií popisovaných v této metodice tak lze očekávat, že návratnost v podobě vyššího zájmu o „uživatelsky přívětivě“ konstruované světlometry tuto bilanci vyváží. V neposlední řadě je pak cílem tohoto procesu vývoj světlometů, které povedou k nižší míře oslnění řidičů na silnici, a tím i ke zvýšení dopravní bezpečnosti.

7. Seznam použité související literatury

Andreassi, J. L. (2006). *Psychophysiology: human behavior and physiological response*. New York: Routledge.

Ammel, R. (2019, November 21). *So stark blenden LED-Scheinwerfer wirklich*. ADAC. <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/licht-und-beleuchtung/blendung/>

Aslam, T. M., Haider, D., & Murray, I. J. (2007). Principles of disability glare measurement: an ophthalmological perspective. *Acta Ophthalmologica Scandinavica*, 85(4), 354–360. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0420.2006.00860.x>.

Aziz, M. A. F. A., Salleh, A. F., Sudin, S., Aziz, F., Shakaff, A. Y. M., Salim, M. S., & Rahim, N. A. (2014). Athlete overtraining monitoring system. In: *Proceedings of the International Colloquium on Sports Science, Exercise, Engineering and Technology 2014 (ICoSSEET 2014)* (pp. 209–217). Singapore: Springer.

Barbur, J. L., & Stockman, A. (2010). Photopic, Mesopic and Scotopic Vision and Changes in Visual Performance. In *Encyclopedia of the Eye* (323–331). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374203-2.00233-5>.

Bullough, J. D., Fu, Z., & Van Derlofske, J. (2002). *Discomfort and disability glare from halogen and HID headlamp systems (No. 2002-01-0010)*. SAE Technical Paper. <https://pdfs.semanticscholar.org/2ab1/db31c1587b4b150126278b0b282dcef82456.pdf>

Cacioppo, J. T., Tassinary, L. G., & Berntson, G. (Eds.). (2007). *Handbook of psychophysiology*. Cambridge: Cambridge university press.

Conboy, J. (2020, January 22). *Is It Better To Have A Yellow Or Whiter Light On The Road? Power Bulbs*. <https://www.powerbulbs.com/eu/blog/2020/01/yellow-or-whiter-light>

Curry, R. (2021, January 20). *Why Bad Headlights are the Bane of Automakers' Existence*. Headlights. <https://headlights.com/why-bad-headlights-are-the-bane-of-automakers-existence/>

Fekete, J., Sik-Lanyi, C., & Schanda, J. (2005). Night time driving - new light sources in car headlamps. In *CIE Mildterm Meeting y Congreso Internacional de Iluminación*. https://www.researchgate.net/publication/228630501_Night-time_drivingnew_light_sources_in_car_headlamps-visibility_and_glare

Ferjenčík, J. (2008). *Úvod do metodologie psychologického výzkumu: jak zkoumat lidskou duši*. Praha: Portál.

Flannagan, M., Uchida, M., Sullivan, J. M., & Buonarosa, M. L. (2014). Subjective and objective effects of driving with LED headlamps. *SAE International Journal of Passenger Cars-Electronic and Electrical Systems*, 7(2014-01-1985), 583–595.

Forbes, T. W. (1972). *Human Factors in Highway Traffic Research*. New York, NY: Wiley.

Friedland, H., Snyckerski, S., Palmer, E. M., & Laraway, S. (2017). The effectiveness of glare-reducing glasses on simulated nighttime driving performance in younger and older adults. *Cognition, Technology & Work*, 19(4), 571–586. <https://doi.org/10.1007/s10111-017-0442-2>.

Gibbons, R. (n.d.). *Glare modeling Formulae* [PowerPoint slides]. DocPlayer. <http://docplayer.net/45141235-Glare-modeling-formulae.html>

Gray, R., Hill, W., Neuman, B., Houtman, D., & Potvin, R. (2012). Effects of a blue light-filtering intraocular lens on driving safety in glare conditions. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 38(5), 816–822. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2011.11.047>.

Guth, S. K. (1961). Discomfort glare. *Optometry and Vision Science*, 38(5), 247–259. <https://doi.org/10.1097/00006324-196105000-00002>.

Habel, J., Dvořáček, K., Dvořáček, V., & Žák, P. (2013). *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public.

Hamedani, Z., Solgi, E., Skates, H., Hine, T., Fernando, R., Lyons, J., & Dupre, K. (2019). Visual discomfort and glare assessment in office environments: A review of light-induced physiological and perceptual responses. *Building and Environment*, 153, 267–280.

Hamedani, Z., Solgi, E., Hine, T., Skates, H., Isoardi, G., & Fernando, R. (2020). Lighting for work: A study of the relationships among discomfort glare, physiological responses and visual performance. *Building and Environment*, 167, 106478.

Hohberger, B., Laemmer, R., Adler, W., Juenemann, A. G. M., & Horn, F. K. (2007). Measuring contrast sensitivity in normal subjects with OPTEC 6500: influence of age and glare. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 245(12), 1805–1814. <https://doi.org/10.1007/s00417-007-0662-x>

Holmes, D. (2018). Reconstructing the retina. *Nature*, 561(7721), S2–S3. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-06111-y>

Hubel, D. H. (1995). *Eye, brain, and vision*. New York: Scientific American Library.

Choudhury, A. K. R. (2015). Chromatic adaptation and colour constancy. *Principles of Colour and Appearance Measurement*, 2, 214–226. <https://doi.org/10.1533/9781782423881.214>

Ikaunieks, G., & Ozolinsh, M. (2008). *Effect of Light Scattering Simulation in the Eye on Different Color Stimuli Perception*. In 14th Nordic-Baltic Conference on Biomedical Engineering and Medical Physics (pp. 367-370). Berlin, Heidelberg: Springer.

Iodice, M., Jost, S., & Dumortier, D. (2019). Testing experimental methods for discomfort glare investigations. In: *Proceedings of 29th CIE session [Internet]*. Washington (DC): International Commission on Illumination, CIE, 317-324.

Jones, O. (2021, March 20). *The Eyeball*. TeachMeAnatomy. <https://teachmeanatomy.info/head/organs/eye/eyeball/>

- Kent, M. G., Fotios, S., & Altomonte, S. (2019). Discomfort glare evaluation: The influence of anchor bias in luminance adjustments. *Lighting Research & Technology*, 51(1), 131–146. <https://doi.org/10.1177/1477153517734280>
- Khan, T. Q., Bodrogi, P., Vinh, Q. T., & Winkler, H. (2014). *LED Lighting: Technology and Perception*. Hoboken: Wiley.
- Košč, F. (2016). *Posouzení oslnění v soustavách s LED*. Světlo v praxi. <https://svetlovpraxi.cz/wp-content/uploads/2016/05/UGR-Ing.-Filip-Ko%C5%A1%C4%8D.pdf>
- Krtilová, A., Matoušek, J., & Monzer, L. (1981). *Světlo a osvětlování*. Praha: Avicenum.
- Kulišťák, P., a kol. (2017). *Klinická neuropsychologie v praxi*. Praha: Karolinum.
- Langhammer, G. (2014). *Headlamp Glare and Range – Enrichment of Data by Calculations*. GTB Document No. CE-5001. [PowerPoint slides]. <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2014/wp29gre/GRE-71-32e.pdf>
- Lažanský, M. (2016, prosinec 2). *Do aut se teď montují čtyři typy světlometů. Vyznáte se v nich?* AutoRevue. <https://www.autorevue.cz/do-aut-se-ted-montuji-ctyri-typy-svetlometu-vyznate-se-v-nich>.
- Longley, C. I. (2016). *Contrast sensitivity and glare: new measurement techniques and the visual consequences of wearing head-mounted displays* [Disertační práce, University of Bradford]. Bradford Scholars. <https://bradscholars.brad.ac.uk/handle/10454/16061>
- Lystrup, D. E. (2017). The dark side of the light: Rachel Carson, light pollution, and a case for federal regulation. *Jurimetrics: The Journal of Law, Science*, 57(4), 505–528.
- Mazal, M. (2020, duben 7). *Dodatečně instalovaná LED světla oslňují, i když jsou reflektory v nejlepším pořádku*. Autoforum. <https://www.autoforum.cz/zivot-ridice/dodatecne-instalovane-led-casto-oslnuji-i-kdyz-jsou-reflektory-v-nejlepsim-poradku/>
- Muchová, N. (2019). *Kontrastní citlivost a oslnění* [Bakalářská práce, Masarykova univerzita]. Theses.cz.
- Neuman, R. (2014). *GTB Field Test*. GTB Document No. CE-5001. [PowerPoint Slides]. UNECE. <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2014/wp29gre/GRE-71-32e.pdf>
- Ohta, H., Mitchell, A. C., & McMahon, D. G. (2006). Constant Light Disrupts the Developing Mouse Biological Clock. *Pediatric Research*, 60(3), 304–308. <https://doi.org/10.1203/01.pdr.0000233114.18403.66>
- Ortiz-Peregrina, S., Ortiz, C., Salas, C., Casares-López, M., Soler, M., & Anera, R. G. (2020). Intraocular scattering as a predictor of driving performance in older adults with cataracts. *PloS One*, 15(1), e0227892. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227892>
- Osičková, B. (2014). *Vliv změny kontrastu a oslnění na zrakové funkce* [Bakalářská práce, Masarykova univerzita]. Theses.cz.

- Pašta, J., a kol. (2017). *Základy očního lékařství*. Praha: Karolinum.
- Pierson, C., Wienold, J., & Bodart, M. (2017). Discomfort glare perception in daylighting: influencing factors. *Energy Procedia*, 122, 331–336.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.332>
- Popa, B. (2010, November 16). *Battle of the Headlights: Halogen vs. Xenon vs. LED vs. Laser vs. Conversion Kits*. Auto Evolution. <https://www.autoevolution.com/news/battleof-the-headlights-halogen-vs-xenon-vs-led-26530.html>
- Qin, X., Zhang, N., Zhang, W., & Meitner, M. (2020). How does tunnel interior color environment influence driving behavior? Quantitative analysis and assessment experiment. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 98, 103320.
<https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103320>
- Ransen, O. (2017). *Candelas, lumens and lux*.
<http://www.ransensoftware.com/Photometric/Candelas-Lumens-And-Lux-Chapter-Samples.pdf>
- SAE International. (2018, May 16). *SAE J1383 (R) Performance Requirements for Motor Vehicle Headlamps*. US: SAE International.
- Sedláček, J. (2016). *Měření světelného toku LED používaných v automobilovém vnějším osvětlení* [Diplomová práce, VŠB – Technická univerzita]. Theses.cz.
- Shin, S.-Y., & Lee, S. (2013). Correlation between car accident and car color for intelligent service. *Intelligence Information Research*, 19(4), 11–20.
<https://doi.org/10.13088/IIIS.2013.19.4.011>
- Schiller, C., Sprute, H., Groh, A., Böll, M., & Khanh. T. Q. (2009). *HID vs. Tungsten Halogen Headlamps: Driver Preferences and Visibility Distance*. SAE Technical Paper 2009–01–0550. <https://doi.org/10.4271/2009-01-0550>
- Sivak, M., Schoettle, B., & Flannagan, M. J. (2004). LED headlamps: glare and colour rendering. *Lighting Research & Technology*, 36(4), 295–303.
- Skorkovská, K., & Skorkovská, Š. (2015). Vnitřně fotosenzitivní gangliové buňky sítnice. *Česká a slovenská oftalmologie*, 71(3), 144–149.
- Stanke, L., & Viktorová, L. (2019). Interdisciplinární výzkum interakce člověka a světla v kontextu automobilové dopravy. *Jemná mechanika a optika*, 64(4), 117–122.
- Synek, S., & Skorkovská, Š. (2014). *Fyziologie oka a vidění. 2., doplněné a přepracované vydání*. Praha: Grada.
- Šťastný, J. (2018). *Oslnění od svítidel s neuniformní vyzařovací plochou* [Diplomová práce, VUT]. Theses.cz.

Tyukhova, Y. (2015). *Discomfort glare from small, high luminance light sources in outdoor nighttime environments*. *Architectural Engineering* [Disertační práce, University of Nebraska - Lincoln]. <https://digitalcommons.unl.edu/archengdiss/36/>

United Nations. (2019, November 8). Agreement Concerning the Adoption of Uniform Technical Prescriptions for Wheeled Vehicles, Equipment and Parts which can be Fitted and/or be Used on Wheeled Vehicles and the Conditions for Reciprocal Recognition of Approvals Granted on the Basis of these United Nations Regulations. (Revision 3, including the amendments which entered into force on 14 September 2017), Addendum 47: UN Regulation No. 48, Revision 12, Amendment 8. <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2019/E-ECE-324-Rev.1-Add.47-Rev.12-Amend.8.pdf>.

Veselý, P., & Beneš, P. (2019). *Vyšetřovací metody v optometrii a interpretace jejich výsledků v praxi*. Praha: Grada.

Viktorová, L., Dominik, T., Stanke, L., & Dostál, D. (2020). Člověk a světlo: (Re)konstrukce de Boerovy škály pro oslnění v českém jazyce. *Jemná mechanika a optika*, 3, 82–84.

Vyhláška č. 72/2011 Sb., Vyhláška, kterou se mění vyhláška c. 277/2004 Sb., o stanovení zdravotní způsobilosti k řízení motorových vozidel, zdravotní způsobilosti k řízení motorových vozidel s podmínkou a náležitosti lékařského potvrzení osvědčujícího zdravotní důvody, pro něž se za jízdy nelze na sedadle motorového vozidla připoutat bezpečnostním pásem (vyhláška o zdravotní způsobilosti k řízení motorových vozidel), ve znění vyhlášky č. 253/2007 Sb.

Wei, R., Wan, X., Liu, Q., Cao, G., & Wang H. (2017). Regional Culture Preferences to LED Light Color Rendering. In: P. Zhao, Y. Ouyang, M. Xu, L. Yang, & Y. Ouyang (Eds.), *Advanced Graphic Communications and Media Technologies*. PPMT 2016. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 417 (33–40). Singapore: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3530-2_5

Westermann, H. (2002). *Informal Document No. 30 (48th GRE, 9-12 April), 2002, (Agenda Items 1.2 and 4.2), History and Scientific Back-up*. UNECE. <https://unece.org/DAM/trans/doc/2011/wp29gre/GRE-48-30e.pdf>

Whelan, C. (2020, January 29). *Night Driving Glasses: Do They Work?* Healthline. <https://www.healthline.com/health/night-driving-glasses>

Wilson, J. (2018, September 5). *Future headlight tech*. Auto Express. <https://www.autoexpress.co.uk/car-news/104523/future-headlight-tech>

Wilson, J. (2020, March 25). *What are LED headlights and how do they work?* Auto Express. <https://www.autoexpress.co.uk/car-news/104520/what-are-led-headlights-and-howdo-they-work>

Wood, J. M., Black, A. A., Anstey, K. J., & Horswill, M. S. (2021). Hazard Perception in Older Drivers With Eye Disease. *Translational Vision Science & Technology*, 10(1), 1–7. <https://doi.org/10.1167/tvst.10.1.31>

Wu, D., Liu, N., Xu, P., Sun, K., Xiao, W., & Li, C. (2020). Reduced Contrast Sensitivity Function in Central and Peripheral Vision by Disability Glare. *Perception*, 49(12), 1348–1361. <https://doi.org/10.1177/0301006620967641>

Žlebek, M. (2013). *Osvětlení automobilu* [Bakalářská práce, VUT]. Theses.cz.

8. Seznam publikací, které předcházely metodice/ Výstupy z originální práce

Články a další textové výstupy

Stanke, L., Viktorová, L., & Dominik, T. (2022). Discomfort Glare Perception by Drivers – Establishing a Link between Subjective and Psychophysiological Assessment. *Applied Sciences*, 12(8), 3847. <https://doi.org/10.3390/app12083847>

Mičková, K. (2021). *Dopravní bezpečnost a oslnění řidičů na českých silnicích*. [Magisterská práce, UPOL]. Theses.cz

Stanke, L. (2021). *Návrh psychofyzilogické laboratoře a experimentu pro výzkum interakce člověk-světlo v kontextu dopravní bezpečnosti*. [Magisterská práce, VŠB-TUO]. Theses.cz

Stanke, L., & Viktorová, L., (2019). Interdisciplinární výzkum interakce člověka a světla v kontextu automobilové dopravy. *Jemná mechanika a optika*, 4, 117–122.

Viktorová, L., Dominik, T., Stanke, L., & Dostál, D. (2020). Člověk a světlo: (Re)konstrukce deBoerovy škály pro oslnění v českém jazyce. *Jemná mechanika a optika*, 3, 82–84.

Viktorová, L., & Stanke, L. (2019). Human-light interaction in the car traffic context – research proposal. In Maierová, E., Viktorová, L., Dolejš, M., & Dominik, T., PhD existence 2019. *Česko-slovenská psychologická konference (nejen) pro doktorandy a o doktorandech. Sborník odborných příspěvků*, 76–84. Olomouc: UP.

Viktorová, L., Stanke, L., & Šucha, M. (2021). Automobilky, řidiči a jejich pohled na světlometry v nových osobních automobilech. In Maierová, E., Viktorová, L., & Dolejš, M., *PhD existence 2021. Česko-slovenská psychologická konference (nejen) pro doktorandy a o doktorandech. Sborník odborných příspěvků*, 23–35. Olomouc: UP.

Konferenční příspěvky

Dominik, T., Dostál, D., Viktorová, L., & Stanke, L. (2020). Člověk a světlo: (Re)konstrukce deBoerovy škály pro oslnění v českém jazyce. [poster]. *Konference PhD existence X, Člověk a čas*, 3.–4. 2. 2020, Olomouc.

Stanke, L., & Viktorová, L. (2019). Člověk a světlo – interakce v kontextu dopravní bezpečnosti. [přednáška]. *Konference PhD existence IX, Tělo a mysl*, 21.–22. 1. 2019, Olomouc.

Stanke, L., Viktorová, L., & Šucha, M. (2019). Visual perception in automotive: Testing the glare effects of new car headlamps. [poster]. *42nd edition of the European Conference on Visual Perception*, 25.–29. 8. 2019, Leuven, Belgie.

Šucha, M., Viktorová, L., & Stanke, L. (2021). New light sources in car headlamps = greater traffic safety? [přednáška]. *ICP 2020+ - International Congress of Psychology*, 18. –23. 7. 2021, Praha.

Viktorová, L., & Stanke, L. (2021). Lighting color preferences in Czech drivers – do they matter in subjective glare evaluation? [přednáška]. *ECVP 2021 - 43rd European Conference on Visual Perception*, 23.–27. 8. 2021, online.

Viktorová, L., & Stanke, L. (2021). Výzkum interakce světla a člověka: Co lze dělat (nejen) v naší laboratoři [workshop na konferenci]. *Konference Psychologie práce a organizace 2021*, 13.–14. 5. 2021, Olomouc.

Viktorová, L., Stanke, L., & Šucha, M. (2021). Automobilky, řidiči a jejich pohled na světlomety v nových osobních automobilech [přednáška]. *Konference PhD existence XI, Jedeme dál...*, 1.–2. 2. 2021, Olomouc.

Aktualizovaný seznam souvisejících publikací je k nalezení na stránkách projektu:

<https://hli.upol.cz/o-nas/vystupy/>

Anotace

Z výzkumných zjištění vyplývá, že oslnění světlomety protijedoucích automobilů je poměrně častým jevem (nejen) na českých silnicích. Diskutováno je především s nástupem moderních zdrojů světla, jako jsou LED, které mají jiné složení barevného spektra, než na jaké bylo lidské oko doposud zvyklé. Oslnění přitom u řidičů vyvolává pocit subjektivní nepohody a stresu, jehož příznaky lze měřit prostřednictvím psychofyziologických metod.

Předkládaná metodika reflektuje poznatky získané v rámci řešení projektu TAČR ÉTA 2 reg. č. TL02000183, jehož cílem bylo zanalyzovat proces a stupeň adaptace člověka-řidiče a jeho zrakového vnímání na nové druhy světelných zdrojů, a navrhuje experimentální postup, pomocí něhož lze systematicky zjišťovat reakce řidičů na oslnění vyvíjenými automobilovými světlomety, a to za pomoci jak subjektivních, tak objektivních měřicích metod.

Annotation

Research findings show that glare from headlights of oncoming cars is a relatively common phenomenon (not only) on Czech roads. It is discussed mainly with the advent of modern light sources, such as LEDs, which have a different composition of the color spectrum than the human eye has been used to. At the same time, glare causes drivers to feel subjective discomfort and stress, the symptoms of which can be measured through psychophysiological methods.

The presented methodology reflects the findings of the TAČR ÉTA 2 project No. TL02000183, which aimed to analyze the process and degree of driver adaptation and visual perception to new types of light sources, and proposes an experimental procedure that can systematically determine drivers' reactions to glare by car headlights, using both subjective and objective measuring methods.

Seznam obrázků

Obr. 1: Oko

Obr. 2: Světelné spektrum

Obr. 3: Vnímání barev

Obr. 4: Teplota chromatičnosti

Obr. 5: Legální bílá zóna dle ECE a SAE

Obr. 6: Martin Schulz Scale - hodnocení barvy duhovky

Obr. 7: Fotostany s Munsellovými tabulkami, nasvícenými různými světelnými zdroji

Obr. 8: Karusel pro montáž světelných vzorků (párů světlometů) jakožto zdrojů oslnění s rozměry

Obr. 9: Vlevo - karusel osazený světelnými vzorky; vpravo – stacionární stojan na místě řidiče

Obr. 10: Uspořádání laboratoře z pohledu řidiče

Obr. 11: Stojan pro řidiče s opěrkou hlavy, vybavenou luxmetry (zvýrazněno červeně), a usazení řidiče

Obr. 12: Schéma rozložení laboratoře se simulací nočního silničního provozu na dvousměrné vozovce

Obr. 13: Fotografie laboratoře vč. umístění řidiče-pozorovatele

Obr. 14: Přístroj BIOPAC MP 36 se zapojenými svody pro EKG, vEOG, EDA a dechové úsilí

Obr. 15: Průběh reakce SRC na podnět

Obr. 16: Umístění elektrod pro měření SCR

Obr. 17: Připojení elektrod pro měření EKG – na hrudi

Obr. 18: Připojení elektrod pro měření EKG – na končetinách

Obr. 19: Umístění elektrod pro měření vEOG

Zdroje k obrazové dokumentaci

Obr. 1: Získáno 20. srpna 2021 z <https://leporelo.info/oko-1>

Obr. 2: Získáno 20. srpna 2021 z <https://www.zeiss.cz/vision-care/lepsi-videni/pochopeni-zraku/jak-funguje-barevne-videni.html>, upraveno autory

Obr. 3: Získáno 20. srpna 2021 z <https://www.mikroskop-mikroskopy.cz/vicebarevne-osvetleni/>

Obr. 4: Získáno 20. srpna 2021 z <https://blog.exkalibr.cz/index.php/2019/01/14/teplota-chromaticnosti-barevna-teplota-svetla/>

Obr. 5: Stanke, L., & Viktorová, L. (2019). Interdisciplinární výzkum interakce člověka a světla v kontextu automobilové dopravy. *Jemná mechanika a optika*. Vol. 64, no. 4, p. 117 – 122.

Obr. 6: Získáno 20. srpna 2021 z <https://eye-color-photos.blogspot.com/2021/01/martin-schultz-scale-eye-color.html>

Obr. 7–16: archiv autorů

Obr. 17: Aziz, M. A. F. A., Salleh, A. F., Sudin, S., Aziz, F., Shakaff, A. Y. M., Salim, M. S., & Rahim, N. A. (2014). Athlete overtraining monitoring system. In: *Proceedings of the International Colloquium on Sports Science, Exercise, Engineering and Technology 2014 (ICoSSEET 2014)* (pp. 209-217). Singapore: Springer.

Obr. 18–19: archiv autorů

Mgr. Lucie Viktorová, Ph.D.

RNDr. et RNDr. Ing. Ladislav Stanke, Ph.D.

Mgr. et Bc. Veronika Hamerníková, Ph.D.

Doc. PhDr. Matúš Šucha, Ph.D.

Metodika pro posuzování oslnění světlomety osobních automobilů z hlediska řidičů

Výkonná redaktorka: doc. PhDr. Lenka Křupková, Ph.D.

Odpovědný redaktor: Bc. Otakar Loutocký

Technická redakce: Mgr. Lucie Viktorová, Ph.D.

Návrh a grafické zpracování obálky: RNDr. et RNDr. Ing. Ladislav Stanke, Ph.D.

Publikace ve vydavatelství neprošla redakční technickou a jazykovou úpravou.

Vydala Univerzita Palackého v Olomouci

Křížkovského 8, 771 47 Olomouc

www.vydavatelstvi.upol.cz

Olomouc 2022

1. vydání

VUP 2022/0171

DOI: 10.5507/ff.22.24461311

ISBN 978-80-244-6131-1 (online: iPDF)

Neprodejná publikace

Z výzkumných zjištění vyplývá, že oslnění světlomety protijedoucích automobilů je poměrně častým jevem (nejen) na českých silnicích. Diskutováno je především s nástupem moderních zdrojů světla, jako jsou LED, které mají jiné složení barevného spektra, než na jaké bylo lidské oko doposud zvyklé. Oslnění přitom u řidičů vyvolává pocit subjektivní nepohody a stresu, jehož příznaky lze měřit prostřednictvím psychofyziologických metod.

Předkládaná metodika reflektuje poznatky získané v rámci řešení projektu TAČR ÉTA 2 reg. č. TL02000183, jehož cílem bylo zanalyzovat proces a stupeň adaptace člověka-řidiče a jeho zrakového vnímání na nové druhy světelných zdrojů, a navrhuje experimentální postup, pomocí něhož lze systematicky zjišťovat reakce řidičů na oslnění vyvíjenými automobilovými světlomety, a to za pomoci jak subjektivních, tak objektivních měřicích metod.



Tento projekt je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu ÉTA.

www.tacr.cz

Výzkum užitečný pro společnost.