

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra vozidel a pozemní dopravy**



**Diplomová práce**

**Faktory ovlivňující pozornost řidiče**

**Bc. Ondřej Juráček**

© 2022 ČZU v Praze

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Ondřej Juráček

Technika a technologie v dopravě a spojích  
Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Faktory ovlivňující pozornost řidiče**

Název anglicky

**Factors affecting the driver's attention**

---

### Cíle práce

Diplomová práce je tematicky zaměřena na faktory ovlivňující pozornost řidiče. Hlavním cílem je provést testování pomocí systému pro sledování pohybu očních zornic řidiče a zjistit, jak např. světelné podmínky ovlivňují pozornost řidiče. Dílčím cílem diplomové práce je analýza současného stavu vývoje v oblasti systémů bezpečnosti vozidel týkajících se pozornosti řidiče.

### Metodika

Metodika řešené problematiky diplomové práce je založena na studiu a analýzách odborných informačních zdrojů. V diplomové práci bude popsán systém eye-tracking. Se získanými znalostmi budou provedena měření zaměřená na oční aktivitu za tmy, oční aktivitu na reflexní prvky a na osoby podél silnice. Na základě rozboru teoretické a praktické části práce budou formulovány výsledky.

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Metodika práce
4. Přehled řešené problematiky
5. Praktická část práce
6. Výsledky a diskuse
7. Závěr
8. Seznam použitých zdrojů
9. Přílohy

## **Doporučený rozsah práce**

50 – 60 str. včetně obrázků, tabulek a grafů

## **Klíčová slova**

sledování pohybu, vozidlo, reflexní prvky, oko, vizuální vnímání, oční aktivita

---

## **Doporučené zdroje informací**

Duchowski, T., A. -Eye Tracking Methodology, Theory and Practice. Springer Cham, 2017. ISBN 978-3-319-57881-1

Holmqvist K., Andersson R. – Eye tracking: A comprehensive guide to methods, paradigms, and measures. Createspace Independent Publishing Platform, 2017. ISBN: 1979484899

Popelka, S. – EYE-TRACKING (NEJEN) V KOGNITIVNÍ KARTOGRAFII. Univerzita Palackého v Olomouci, 2018. ISBN 978-80- 244-5313-2

Popelka, S. – Hodnocení 3D vizualizací v GIS s využitím sledování pohybu očí. Univerzita Palackého v Olomouci, 2015. ISBN 978-80- 244-4803-9

---

## **Předběžný termín obhajoby**

2021/2022 LS – TF

## **Vedoucí práce**

Ing. Veronika Hartová, Ph.D.

## **Garantující pracoviště**

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2021

**Ing. Martin Kotek, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2021

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 11. 08. 2021

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Faktory ovlivňující pozornost řidiče" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31. 03. 2022

---

### **Poděkování**

Rád(a) bych touto cestou poděkoval paní Ing. Veronice Hartové, Ph. D. za odbornou pomoc při psaní této diplomové práce a kolegům z Technické fakulty ČZU za další pomoc při školení a měření. Rovněž děkuji respondentům, kteří mi pomohli získat data potřebná pro zpracování praktické části práce. Na závěr děkuji své partnerce za stále skvělou podporu jako při psaní bakalářské práce.

# Faktory ovlivňující pozornost řidiče

## Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá sledováním pohybu lidských očí a faktory, které mohou řidiče ovlivňovat. Cílem bylo zjistit, jak jednotliví respondenti reagují na přechodech pro chodce. Práce je rozdělena do dvou částí, a to části teoretické a části praktické. Teoretická část se zabývá stavbou oka a pohyby orgánu samotného, sledovači očních pohybů, tzv. eye-trackery a aktivními a pasivními bezpečnostními prvky vozidel. Zaměřeno je zde hlavně na aktivní bezpečnostní prvky, které mohou ovlivňovat řidičovu pozornost přímo. V části praktické byla provedena terénní měření s brýlemi sledující oční pohyby Tobii Pro Glasses 3, za pomoci kterých bylo zjišťována doba fixace jednotlivých respondentů na přechod pro chodce, a to jak bez přecházejících chodců, tak s přecházejícími chodci. Rovněž bylo zjišťováno, zda LED osvětlení některých přechodů zaujme řidičovu pozornost dříve a zda je v danou chvíli řidičova doba fixace na daném přechodu delší než na přechodu bez LED osvětlení.

**Klíčová slova:** sledování pohybu, vozidlo, reflexní prvky, oko, vizuální vnímání, oční aktivita, sledování pohybu očí

# **Factors affecting the driver's attention**

## **Abstract**

This diploma thesis deals with monitoring of human eye movements and factors that can affect driver. It's goal was to find out how individual respondents react at crosswalks. The diploma thesis is divided into two parts of which first is the theoretical part, the second is the practical part. The theoretical part deals with the structure of human eye and with it's movements, eye movement trackers, so called eye-trackers and with the active and passive safety features of vehicles. Most of the focus is on the active safety features part that can affect driver's attention while driving. In the practical part, field measurements were performed in real traffic with eye-tracking glasses Tobii Pro Glasses 3. It was possible, with these glasses, to determine the time of eye fixation of individual respondents to the crosswalk. Both scenarios happened, which means pedestrians were crossing on the crosswalk or there were no pedestrians on the crosswalk. It was also determined whether the LED lighting of some crosswalks will attract the driver's attention earlier and whether the driver's eye fixation is longer on crosswalk with LED lighting than at the crosswalk without LED lighting.

**Keywords:** motion tracking, vehicle, reflective elements, eye, visual perception, eye activity, eye-tracking

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Cíl práce .....</b>	<b>2</b>
<b>3 Metodika .....</b>	<b>3</b>
<b>4 Přehled řešené problematiky .....</b>	<b>4</b>
4.1 Lidské oko .....	4
4.2 Pohyby očí.....	8
4.3 Barevné vidění .....	10
4.4 Vývoj sledování pohybu očí.....	11
4.5 Eye-trackery .....	15
4.5.1 Electro-oculography.....	15
4.5.2 Scleral contact lens .....	16
4.5.3 Photo-OculoGraphy a Video-OculoGraphy .....	16
4.5.4 Video-Based Combined Pupil/Corneal Reflection .....	17
4.5.5 MOCAP .....	18
4.5.6 Možnosti vizualizace dat .....	20
4.6 Asistence při řízení.....	21
4.6.1 Aktivní bezpečnostní prvky .....	21
4.6.2 Pasivní bezpečnostní prvky .....	31
<b>5 Praktická část práce.....</b>	<b>32</b>
5.1 Tobii Pro Glasses 3 .....	32
5.2 Příprava měření .....	33
5.2.1 Trasa.....	33
5.2.2 Podmínky při měření .....	34
5.2.3 Instalace a kalibrace .....	35
5.3 Měření .....	36
<b>6 Výsledky a diskuze .....</b>	<b>45</b>
<b>7 Závěr.....</b>	<b>47</b>
<b>8 Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>49</b>



# 1 Úvod

Pod faktory ovlivňující pozornost řidiče si lze představit mnoho, např. míru únavy řidiče, nedostatečnou koncentraci způsobenou nařikajícím dítětem na zadní sedačce, probíhající zvíře přes vozovku, které řidič nemusí čekat či výskyt reflexních prvků ať už na osobách pohybujících se ve vozovce nebo na dopravním značení. Zkrátka lze si pod tím představit cokoliv, co dokáže řidiče odtrhnout od sledování prostoru před sebou a kolem sebe, dle směru jízdy. To mohou do jisté míry kontrolovat prvky aktivní a pasivní bezpečnosti, kterých je v moderních vozidlech celá řada. Asistence jízdy v pruzích, kontrola únavy řidiče, noční vidění a další prvky již nejsou v dnešní době ničím neobvyklým.

Velmi důležitým faktorem však byly, jsou a budou oči. Díky eye-trackingu vyvstává možnost sledovat oční aktivitu v různých podmínkách, a i v různých situacích.

Aplikací eye-trackingu na řidiče vozidla mohou být získána cenná data o reakčních dobách jednotlivých respondentů na dané podněty za různých podmínek a tato data by mohla posloužit při vývoji nových systémů, díky kterým by se mohly osoby ve vozidle cítit ještě bezpečněji.

## 2 Cíl práce

Cílem diplomové práce je seznámit čtenáře s metodami sledování pohybu očí a jejich použitím v praxi.

V teoretické části je cílem čtenáře informovat o základních poznatcích o očích, o metodách sledování očních pohybů a také o využití těchto metod a s nimi souvisejících zařízení s ohledem na faktory, které mohou ovlivňovat řidičovu pozornost ve vozidle. Poslední část teoretické části práce má za úkol předat čtenáři informace o aktivní a pasivní bezpečnosti, hlavně tedy o systémech aktivní bezpečnosti s návazností na faktory ovlivňující pozornost řidiče.

V praktické části práce je cílem provést měření se zařízením sledující oční pohyb řidiče vozidla. Dále informovat o parametrech použitého sledovacího zařízení, stanovit podmínky měření a naměřená data zpracovat pro detailnější rozbor a vyhodnocení výsledků. Se zpracovanými daty pak bude možné vyhodnotit, v závislosti na daných okolních podmínkách, reakce řidiče na danou situaci.

Zpracovanými daty a jejich interpretací lze formulovat závěr měření a lze poměřit, jak řidičské schopnosti jednotlivých respondentů mohou ovlivnit testované reakce a zda je reflexní osvětlení přechodů podnětem pro delší dobu oční fixace na přechodu.

### 3 Metodika

Teoretická část práce bude napsána za použití vhodných českých a zahraničních zdrojů. V praktické části práce bude provedeno terénní měření s trackovacími brýlemi Tobii Pro Glasses 3 a za použití aplikace Glasses, také od společnosti Tobii.

Jako respondenti budou zvoleni tři muži s prakticky identickými parametry pro plánované měření – stejný věk, bez brýlí a se zhruba stejně dlouhou dobou držení řidičského oprávnění. Každý však v rámci dotazníkového šetření odpověděl jinak na kombinaci otázek, zda jezdí častěji mimo obec nebo ve městě a zda měřený úsek zná. Díky těmto rozdílným odpovědím bude provedena komparace délek očních fixací respondentů a jejich další posouzení.

Bude vybrána vhodná trasa, kde je možné brýlemi sledovat řidičovy reakce a s tím i jeho oční pohyby. V tomto případě se jedná o trasu, která obsahuje velké množství přechodů pro chodce a cílem je sledovat a analyzovat, jak se daný respondent reagovat při jízdě na přechod pro chodce a jak dlouhý časový interval na daném přechodu setrvá svým pohledem.

S každým respondentem bude provedena před měřením instruktáž, jak s brýlemi manipulovat a jak získat co nejlepší záznam dat z jízdy. Před každým měřením bude provedena kalibrace brýlí pomocí kalibrační kartičky, která bude ve vzdálenosti natažené paže. Po kalibraci započne samotné měření, při kterém obsluha aplikace Glasses kontroluje průběh měření v reálném čase a při ukončení jízdy jej v aplikaci ukončí. Každý respondent absolvuje 3 testovací jízdy.

Naměřená data budou následně zpracována v PC aplikaci Tobii Pro Lab, do které se jednotlivé záznamy měření naimportují a lze s nimi dále pracovat. Technikou nazvanou „frame-by-frame“ lze pak určit dobu, kterou daný respondent setrval svým pohledem na přechodu pro chodce. Následnou heatmapu pohledu z celého či částí měření lze také vygenerovat v aplikaci Tobii Pro Lab.

Po zpracování dat bude provedeno jejich zhodnocení s komentářem a bude formulován závěr práce.

## 4 Přehled řešené problematiky

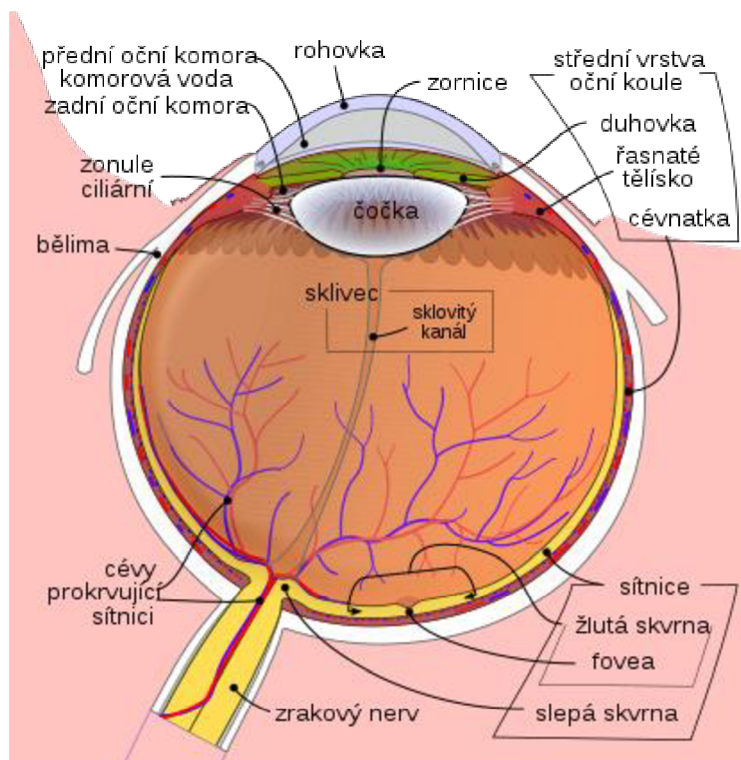
Aby bylo možné sledovat pohyb očí, je třeba znát informace o tom, jak lidský zrak a technologie eye-tracking funguje, stejně tak jaké pohyby očí vykonávají.

### 4.1 Lidské oko

Zrak patří mezi nejdůležitější smysl a oko je svou stavbou nejsložitější ze všech orgánů v lidském těle. Díky eliptickému tvaru očí je i prostor, které jsou oči schopny zachytit, eliptický. Zorné pole očí, tedy část prostoru, kterou člověk vnímá při fixním pohledu na jeden bod, je přibližně 190° horizontálně a 130° vertikálně. Oči absorbují světlo z okolí a shromažďují jej v rohovce. Toto shromážděné světlo projde přední oční komorou, zornicí a následně světlo dorazí na oční čočku, která světlo zaostří a přenesení na fotosenzitivní sítnici, kde se zrakové informace sbírají a třídí. Tyčinky zodpovídají za vnímání tmy a světla a čípky mají na starost barvy a ostrost. Zrakovým nervem se rozříděné informace přepraví přímo do mozku, kde jsou znovu vyhodnoceny a sjednoceny tak, aby vytvořili obraz, který vidíme. [1] [2]

Tvar oční koule je přibližně kulovitý s průměrem asi 23 mm. Oční štěrbinou mezi otevřenými víčky je viditelný pouze menší, přední úsek oční koule. Větší, zadní část je uložena v hloubi očnice. Oční kouli tvoří stěna oční koule a obsah oční koule. Stěnu oční koule tvoří vnější vazivové vrstvy (rohovka, bělma), prostřední vrstvy (cévnatka, řasaté tělísko, duhovka) a vnitřní vrstva (sítnice). Obsahem oční koule jsou průhledné a čiré struktury (přední a zadní oční komora, čočka, sklivec) jež propouští světelné paprsky a upravují jej tak, že dopadají na sítnici. Na obrázku 1 je znázorněna struktura lidského oka. [3]

Obrázek 1 - Struktura lidského oka



Zdroj: wikimedia.org

Rohovka je průhledná vrstva kopulovitého zakřivení pokrývající přední část oční koule (zornici a duhovku). Jedná se o velmi důležitou součást lidského zraku, protože díky své optické mohutnosti představuje kolem dvou třetin celkové optické lámavosti očí. Pokrývá přední jednu šestinu oční koule. [3] [4]

Bělima označuje neprůhlednou, nejčastěji bílou (oční bělmo) vazivovou blánu chránící vnitřní část oka. Rovněž se na bělimu v různých místech připojují okoohybné svaly umožňující pohyb oční koule. Zaujímá zadních pět šestin oční koule. [3] [4]

Cévnatka, tak se rozumí prostřední vrstva obalující oční kouli ležící mezi sítnicí a bělimou. Je velmi bohatá na cévy, kterými se zásobují především vnější vrstvy sítnice. Obsahuje také v hojném počtu pigmentové buňky, které zabraňují rozptýlení světelných paprsků uvnitř oka. Zaujímá zadní dvě třetiny prostřední stěny oční koule a v přední části přechází v řasnaté tělísko. [3] [4]

Řasnaté tělísko leží těsně za duhovkou a plynule přechází předním okrajem do duhovky. Zadním okrajem přechází plynule do cévnatky. Řasnaté tělísko obsahuje hladkou

svalovinu a velké množství jemných vláken, za pomoci kterých je umožněna akomodace. Akomodací je rozuměn proces, při kterém dochází k zaostření oka na sledovaný předmět. Ostření probíhá změnou zakřivení čočky, která je zavěšena na řasnatém tělísku. Řasnaté tělísko rovněž tvoří nitrooční tekutinu, která vyplňuje oční komory. [3] [4]

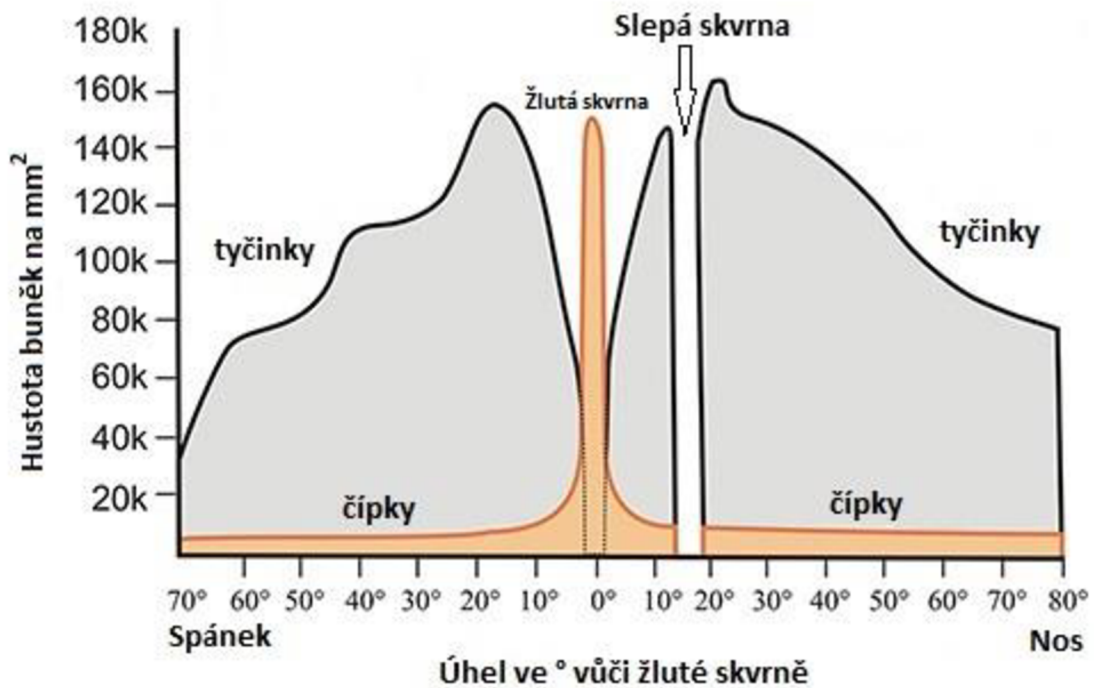
Duhovka je nejvíce dopředu vysunutou částí prostřední části oka a hladká svalovina, která je seskupena v duhovce, vytváří dva svaly. Paprskovitě uspořádaná svalová vlákna vyvolávají mydriázu (rozšiřování zornice). Kruhová svalová vlákna vyvolávají miózu (zuzování zornice), čímž je omezován přístup světla do oka. V duhovce se také nachází pigmentové buňky, kterými je podmíněna barva očí. Zornice, nacházející se ve středu duhovky, reaguje na různou intenzitu osvětlení, což je základem zornicové reflexu. Tímto reflexem je chráněna sítnice před velmi intenzivním světlem a v případě nízké intenzity světla, např. při setmění, umožňuje zvyšování množství světla vstupujícího do oka. [3] [4]

Sítnice tvoří vnitřní vrstvu oční koule a je také jedinou částí centrálního nervového systému, kterou je možno přímo vyšetřit. Pouze v sítnici lze nalézt receptory reagující na světelné záření. Buněčných vrstev, které tvoří sítnici, je mnoho, proto je také stavba sítnice velice složitá, avšak nejdůležitější buněčnou vrstvou je ta, která tvoří receptory pro vnímání barev a světla, tedy čípky a tyčinky.

Receptory barevného vidění jsou čípky a jejich počet čítá pouze 6 miliónů. Oproti tomu tyčinek, jež jsou receptory pro vnímání světla, je kolem 120 miliónů. Vlákna zrakového nervu, který přenáší světelné podněty do mozku, začínají v sítnici. Žlutá skvrna, obsahující pouze čípky, je oblastí ostrého vidění. Tato skvrna se nachází u zadního pólu oka a v jejím středu se nachází prohlubeň zvaná fovea centralis, což je místo ležící na vrcholu optické osy oka, a protože se do něj promítá centrální paprsek, představuje tak fovea centralis místo nejostřejšího vidění. Ve vzdálenosti asi 4-5 mm od žluté skvrny, v místě, kde vystupuje z oční koule zrakový nerv, se nachází malý útvar neobsahující tyčinky ani čípky. Díky absenci čípků a tyčinek nelze rozeznat barvy ani množství dopadajícího světla, a proto se jedná o slepou skvrnu. [3] [4]

Na obrázku 2 je znázorněna hustota čípků a tyčinek na sítnici.

Obrázek 2 - Hustota čípků a tyčinek na sítnici



Zdroj: <http://www.rags-int-inc.com/PhotoTechStuff/CameraEye/>

Čočka, jež svým tvarem odpovídá bikonvexní spojné čočce (obě strany čočky jsou vypouklé), je oční strukturou lámající společně s duhovou světlo dopadající na sítnici. Čočku tvoří dokonale průhledná, tuhá a rosolovitá hmota. Povrch čočky je pokryt jemným vazivovým pouzdem, do kterého se upínají vlákna řasnatého tělíska, díky čemuž čočka může provádět akomodaci (změnu tvaru). V případě smrštění drobného hladkého svaly, jež je podkladem řasnatého tělíska, povolí tah vláken řasnatého tělíska a dojde k vyklenutí čočky její vlastní pružností. Naopak při uvolnění svaly se čočka zploští a mění tak svou světelnou lomivost. Optická mohutnost lidské čočky se pohybuje kolem 18 D. [3] [4]

Sklivec vyplňuje většinu oční koule mimo přední a zadní oční komoru. Jedná se o průhledné těleso s vláknitou strukturou, jehož funkcí je udržovat nitrooční tlak a hladký povrch sítnice. V přední části sklivce se nachází jamka, v které je umístěna čočka. [3] [4]

Oční komory jsou dva štěrbinové prostory nacházející se za zadní částí rohovky (přední oční komora) a před přední částí čočky (zadní oční komora). Oběma komorami cirkuluje komorová voda tvořená z krevní plazmy. Ze zadní komory tekutina protéká zornicí

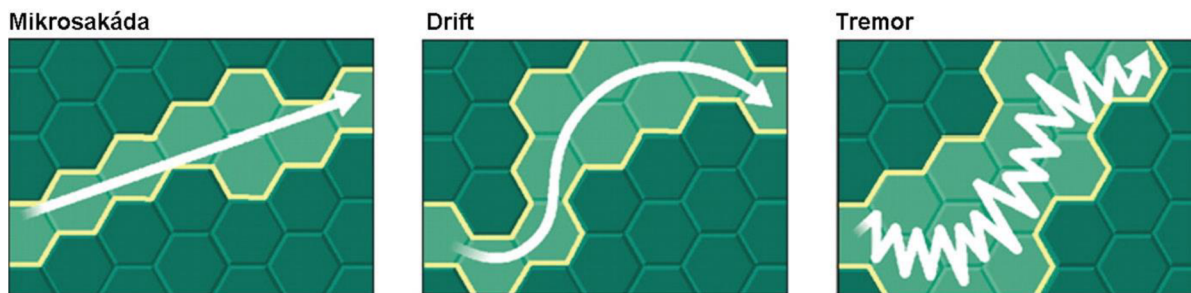
do přední oční komory, odkud putuje do úzkého kanálku vytvořeného v rohovce (Schlemmův kanál). Tímto kanálem je tekutina odváděna do jemných žil nacházejících se v okolí oční koule. V případě, kdy je odtok komorové vody přerušen, narůstá nitrooční tlak, což vede k vzniku tzv. zeleného zákalu. [3] [4]

Aby bylo možné sledovat pohyb očí, je velmi důležité znát fakt, že mozek využije více jak 40 % své kapacity na zpracování informací z oblasti, která pokrývá méně než 5 % zorného pole. Z toho důvodu se oči pohybují tak, aby se sledované objekty pohybovaly v oblasti s nejostřejším viděním. Jde o prohlubeň fovea centralis, která se nachází v oblasti žluté skvrny a také ležíc na vrcholu optické osy oka. [5]

## 4.2 Pohyby očí

Oční pohyb není nikdy zcela plynulý a jednoduchý. Nejtěžší však pro oči je schopnost zaměřit sledovaný objekt a schopnost udržet pozornost na sledovaném objektu. Schopností udržet oko zaměřené na určitý bod se rozumí fixace. Celkový sledovaný objekt je složen z řady fixací, které si oči stanoví jako výchozí body. Při fixaci se objevují tři typy mikropohybů, jimiž jsou drift, mikrosakády a tremor.

Obrázek 3 - Typy mikropohybů při fixaci [5]



Tremor neboli oční třes, představuje oscilační pohyb oka s frekvencí 70 – 130 Hz, který je nejspíše způsobován nepřesnou kontrolou okohybných svalů. Ze všech mikropohybů má nejmenší amplitudu odpovídající 20 – 30 úhlovým sekundám. Tremor je velmi těžké zaregistrovat, protože důsledkem vibrací a pohybů hlavou vznikají artefakty. Funkční význam tremoru není do této chvíle znám.



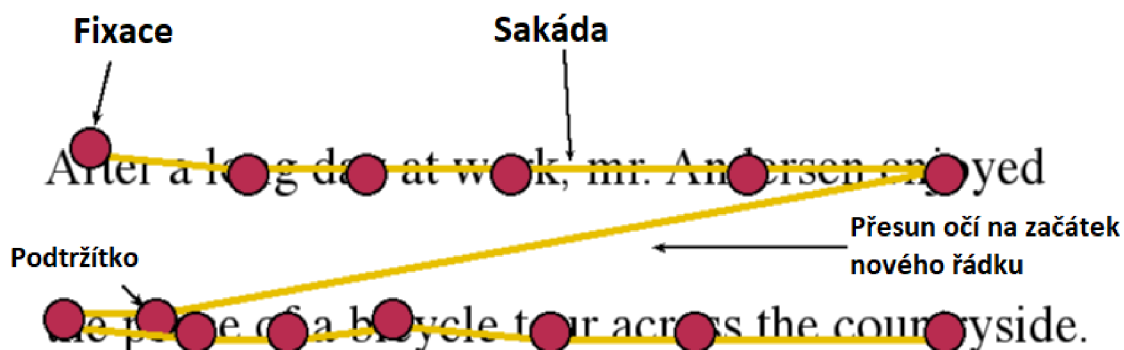
Drift je pomalým klouzavým pohybem oka, který vychyluje oko ze středu fixace a během 200 ms dokáže vychýlit osu oka maximálně o 6 úhlových minut, což odpovídá posunu obrazu na sítnici o 10 – 15 čípků. Během tohoto posunu se obraz nedostane z fovey centralis a mikrosakádami opačného směru se obraz vrací zpět do centra fovey. Drift každého oka je asymetrický a klouzavé oční pohyby na sobě nejsou závislé. Jde o jediný oční pohyb, při kterém je aktivita daných svalů rozdílná.

Mikrosakádou je rozuměn rychlý pohyb o amplitudě 2 – 50 úhlových minut se střední amplitudou 5,6 úhlových minut. Mikrosakády jsou symetrické s nepravidelným výskytem, kterým je vracena osa oka zpět do středu fixace. Rychlost pohybu mikrosakády je v rozmezí 10 – 20 ms a závisí na její amplitudě.

Sakáda představuje volný oční pohyb z jedné fixace na další. Nejčastější délka sakád se pohybuje v rozmezí 30 – 80 ms a jedná se o nejrychlejší pohyb v lidském těle. Principiálně při sakádách mozek vnímá minimum vizuálních vjemů, což je způsobeno jednak rozmazáním daného obrazu, ale také tzv. sakadickým potlačením. Proto není člověk schopen např. vidět pohyb vlastních očí v zrcadle.

Na obrázku 4 je znázorněn sakadický pohyb při sledování textu. Jako fixace je znázorněn na obrázku 4 barevný kruh, který poukazuje na místo, na které se oči fixují při čtení daného slova. Sakáda je znázorněna žlutou úsečkou a představuje pohyb z jedné fixace na další (viz. začátek tohoto odstavce). Je také pěkně znázorněn přesun očí z konce jednoho řádku na začátek dalšího. [4] [5] [8] [10]

Obrázek 4 - Pohyb očí při čtení textu



Zdroj: <https://www.tutorialexample.com/eye-tracking-corpus-download-a-simple-guide-for-nlp-beginners/>

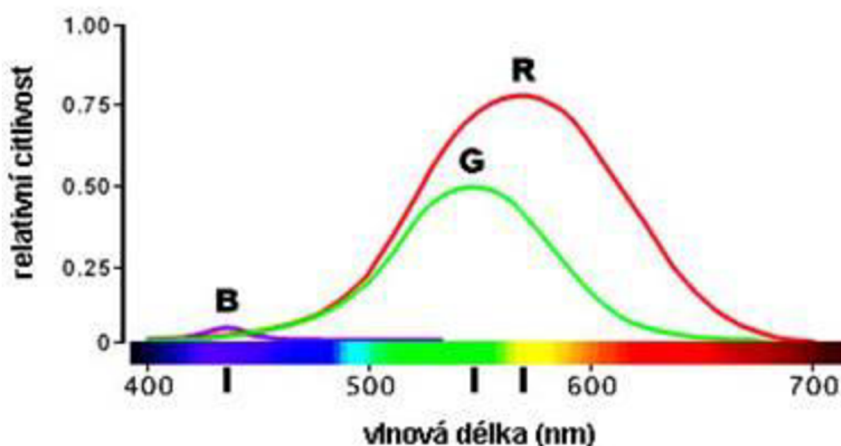
Podtržítka v tomto případě vytváří atypický objekt, na kterém se sledovaný subjekt pozastaví nežli pokračuje dále ve čtení textu. Vědci z Kent State University v americkém Ohiu zkoumali, který text je lepší v závislosti na rychlosti čtení v programovacím jazyce. Využili dvou identifikačních stylů: camelCase a under\_score. Pro představu lze použít např. následující anglické slovní spojení: „contact email“. V případě stylu camelCase by výsledný text vypadal takto: „contactEmail“, případně „ContactEmail“, s použitím stylu under\_score by výsledný text vypadal takto: „contact\_email“. Z výsledků výzkumu vyplývá, že jednodušeji a rychleji je pochopen obsah sdělení v případě použití identifikačního stylu under\_score. [11]

### 4.3 Barevné vidění

Rozlišování barev okem, dle Youngovo-Helmholtzovo teorie, je dáno třemi typy složek citlivých na světlo, které se nacházejí na čípcích sítnice. První z těchto složek je citlivá na modrou (fialově modrou) barvu, druhý na zelenou (žlutozelenou) barvu a třetí na červenou (purpurově červenou) barvu. Dopadající světlo podráždí všechny tři složky citlivé na světlo, každou z nich ale v jiné míře. Barvy z barevného spektra se nazývají odstíny. Tři základní barvy, RGB (červená, zelená, modrá) jsou odstíny nasycené. Jakmile do těchto základních barev přibudou světelné paprsky, resp. bílé světlo, barva se odkloní od základního barevného schématu a již se jedná o odstín nenasycený.

Barevné spektrum, resp. elektromagnetické vlnové délky, které je lidské oko schopno rozeznat, se nachází v rozmezí 400 – 750 nm. Tyto vlnové délky lze nazývat viditelným světlem. Pod spodní hranicí viditelného světla leží záření ultrafialové, které jsou schopni vnímat někteří ptáci či hmyz. Nad horní hranicí barevného spektra se objevuje záření infračervené, která sice není možno vnímat okem, lze toho záření však zachytit např. kamerou. Na obrázku 5 je znázorněno barevné spektrum. [3] [18] [19]

Obrázek 5 - Barevné spektrum



Zdroj: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/545-teorie-trojbarevneho-videni>

K vidění barev však nestačí pouze čípky, ale je nutná i určitá hladina osvětlení. Při příliš nízké hladině osvětlení oko není schopno vnímat barvy. Existují tři pásma a to pásmo skotopické, ve kterém oko nevnímá barvy vůbec, pásmo fotopické, kde jsou barvy okem vnímány. Intenzita osvětlení, kdy fungují tyčinky i čípky, je nazývána pásmem mesopickým. Zvýšením intenzity světla na maximální úroveň oko vnímá barvu se žlutobílým odstínem. [3]

#### 4.4 Vývoj sledování pohybu očí

O to, jak funguje lidský zrak, se začal zajímat již Aristotelés. Všiml si, že se obě oči pohybují stejným směrem, tedy není možné, aby jedno oko pozorovalo prostor vlevo a druhé prostor vpravo. Z tohoto poznatku usoudil, že je třeba oči vnímat jako celek.

V průběhu 19. století se český přírodovědec Jan Evangelista Purkyně začal zabývat problematikou vidění a lidského zraku. V této oblasti popsal obrazy, které se odrážejí z povrchu oka, tzv. Purkyňovy obrázky zkráceně PI (Purkinje Images). PI jsou znázorněny na obrázku 6.

Existují 4 viditelné Purkyňovy obrazce:

P1 – představuje odraz od vnějšího povrchu rohovky

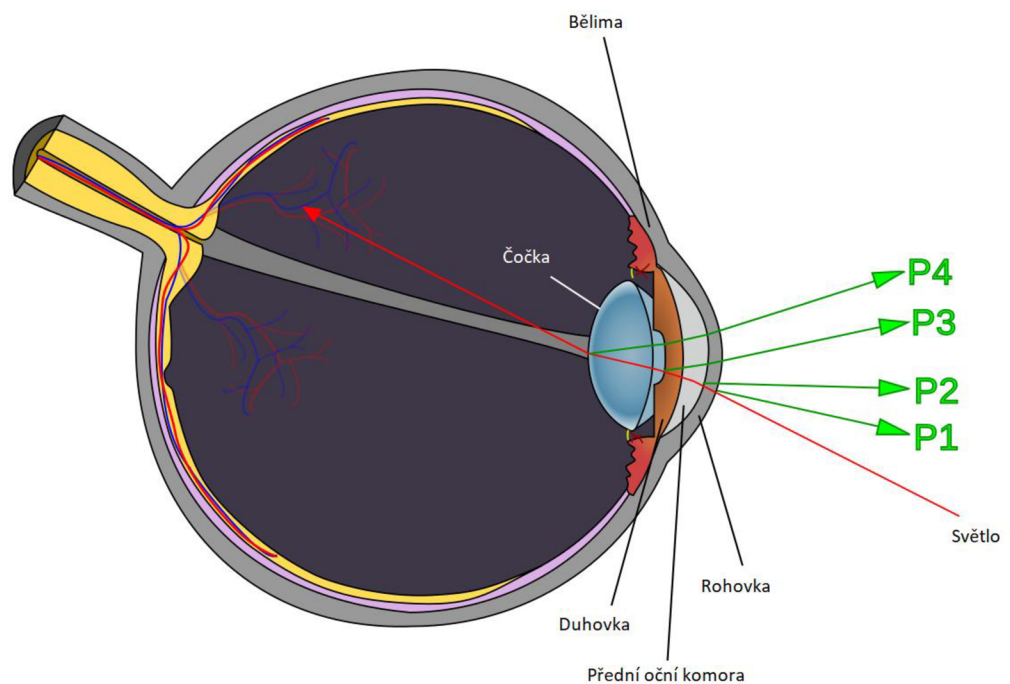
P2 – představuje odraz od vnitřního povrchu rohovky

P3 – představuje odraz od vnějšího povrchu čočky

P4 – představuje odraz od vnitřního povrchu čočky

Například obrazy P1 a P4 jsou používány některými zařízeními pro sledování pohybu očí, a to k měření polohy oka. Odraz od vnějšího povrchu rohovky (P1) je při tomto měření obecně znám jako „záblesk“. [16]

Obrázek 6 - Purkyňovy obrázky



Zdroj: ppw.kuleuven.be

Znalosti o sledování pohybu očí ještě více prohloubil v průběhu 19. století francouzský oční lékař Louis Émile Javal, který sestrojil zařízení zaznamenávající pohyb očí. Toto zařízení využívalo odrazu od zrcátka, které bylo umístěno před oko sledovaného subjektu, a zaznamenávalo oční aktivitu na fotografickou desku. Díky tomu byl schopen

rozpoznat, jak daný čtenář sleduje text v knize. Oproti předpokládanému plynulému pohybu čtení objevil, že oční pohyby jsou složeny z krátkých rychlých pohybů (sakády) a úseků při nichž se oko na chvíli zastaví (fixace) (viz kapitola 4.2).

Později přispěl k metodám sledování pohybů očí i americký vysokoškolský učitel Edmund B. Delabarre, který ke konci 19. století používal ke sledování oční aktivity sádrouvou misku, ke které byl připevněný drát zaznamenávající oční pohyby. Drát byl připojen ke kymografu, což je zařízení složené z bubnu a pera. Jak se buben otáčí, tak pero zaznamenává změny na papíře omotaném kolem bubnu.

Při velmi malých pohybech očí bylo zařízení velmi přesné. Jakmile však začaly být pohyby očí rychlejší, tedy přirozenější, tak docházelo k problémům, protože se oko nenacházelo v běžných podmínkách. Bohužel kvůli tomu byly výsledky měření ovlivněny.

Delabarre nejčastěji tento pokus aplikoval sám na sobě. Metoda to však byla značně bolestivá, a proto musel před každým pokusem aplikovat 2–3 kapky roztoku kokainu. Dle svých pozorování již po týdnu mohl konstatovat, že účinky kokainu v oku pominuly. [12]

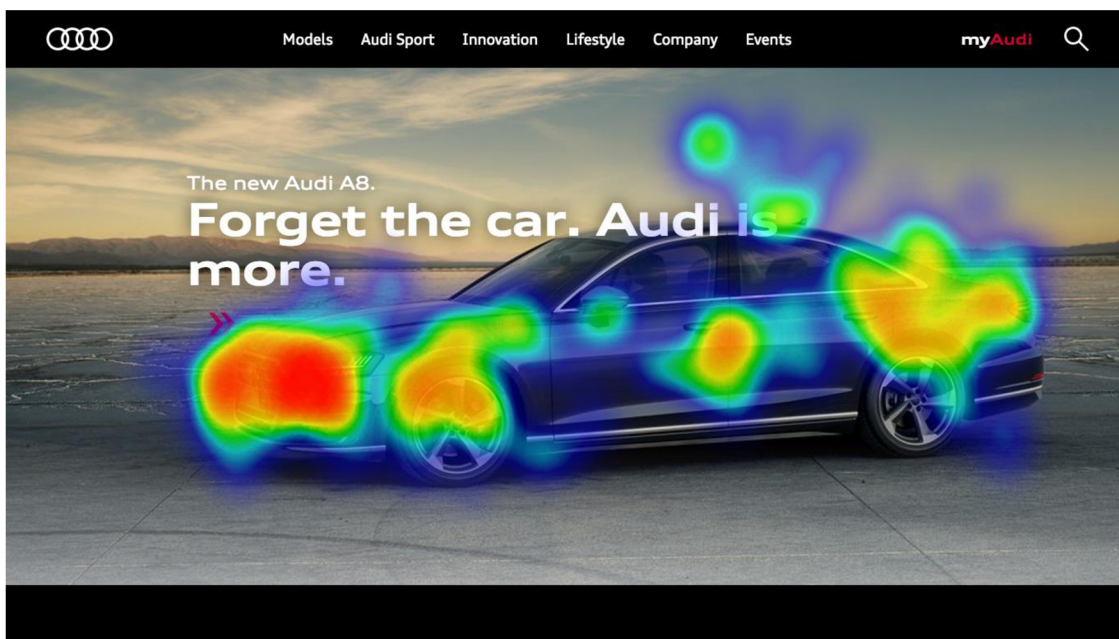
Počátkem 20. století došlo k dalšímu vývoji metod sledování pohybu očí. Omezení fungování Delabarrova přístroje pouze na přímý kontakt s okem dal za vznik novým metodám, které již přímý kontakt s okem nepotřebovaly. Začátkem 20. století vznikla technologie tvrdící, že oko není dokonalá koule a nerotuje kolem svého centra. Světelné paprsky se tedy odrážejí od každé části oka pod jiným úhlem. Tato technologie využívala fotografického přístroje, díky čemuž již nebylo nutné, aby měl testovaný subjekt přímý kontakt s měřícím zařízením. [5] [14] [17]

V průběhu 20. století vzniklo nemalé množství různých technologií snímání pohybu očí. Část z nich se dokonce vracela k přímému kontaktu snímače s okem. Velký krok kupředu však v oblasti sledování pohybu očí provedl americký psycholog Guy Buswell, který ve 40. letech publikoval studii obsahující údaje o očním pohybu 200 subjektů z nichž si každý prohlížel několik obrázků. Všechny výsledky zaznamenával na filmový pás, který v celkové délce měřil něco přes 5 km. Tato studie byla první, která systematicky sledovala pohyby očí subjektů sledujících složitější podněty než např. jednoduché geometrického obrazce či části textu. Velmi zajímavou se jeví část studie věnovaná sledováním míst, kde se subjekt svým zrakem fixoval na určité místo. Porovnával tak několik prvních fixací a několik posledních, které pak porovnával i mezi testovanými subjekty navzájem. Ve studii

vznikly taky první tzv. „heat mapy“, což jsou mapy ukazující hustotu fixací v jednotlivých částech obrázku. [13]

Příklad použití heat mapy je zobrazen na obrázku 7, kde byla respondentovi měřena oční aktivita během 15sekundového časového limitu.

Obrázek 7 - Ukázka heat mapy



Zdroj: <https://instanteyetracking.com/results/e7yi29jfn3?resultId=65314524>

Z obrázku 7 je patrné, jak se během daného časového úseku respondent díval na znázorněné vozidlo. Modré části představují prostor s nejmenší dobou fixace, tedy v této oblasti prakticky nebyla zaznamenána fixace, ale byl v dané oblasti zaznamenán oční pohyb. Barevné spektrum heat mapy by mohlo být zapsáno zhruba takto (od nejkratší doby fixace po nejdelší): modrá-zelená-žlutá-oranžová-červená. V tomto konkrétním případě dle definování barevného spektra heat mapy respondenta nejvíce zajímala přední část vozidla, resp. maska, nárazník apod., následovaná B sloupkem mezi předními a zadními dveřmi, předním blatníkem a kolem z lehkých slitin a zadní částí vozidla.

Experiment Alfreda Yarbuse, při kterém respondentovi zobrazil stejný obraz 7x za sebou, ale pokaždé doplněný jinou otázkou, potvrdil Buswellovo pozorování, že úkol, který je respondentovi zadán, může změnit místa, na která se respondent bude fixovat. Yabusovo experiment tak demonstroval, že jakékoliv faktory dané stimulem mohou být zastíněny faktory danými úkolem. [5]

## 4.5 Eye-trackery

Při experimentu, kterým je prováděno sledování očí, je nutné nepřetržitě získávat informace o poloze oka vzhledem k sledovanému objektu. Díky této podmínce je pak možné porovnávat polohu oka v čase. Pokud by například byly respondentům předloženy dva obrázky, obr. A a obr. B, lze ze zpracovaných dat určit, kam se respondent v danou chvíli díval: na obr. A, obr. B či mimo dané obrázky.

Typů zařízení sledující pohyb očí existuje několik druhů z nichž většina jsou systémy založené na videu, kde je pohyb očí monitorován infračervenou kamerou, která směřuje do očí testovaného respondenta. Existují však také alternativní metody měření očního pohybu, jež budou nyní popsány. [9] [15]

### 4.5.1 Electro-oculography

EOG, neboli zkratka elektrookulografie, byla před zhruba 50 lety nejrozšířenější metodou pro záznam očních pohybů. Dodnes je tato metoda používána a to i přesto, že je méně přesná novodobější technologie. Principem EOG je měření rozdílů elektrického potenciálu pokožky za pomoci elektrod, jež jsou umístěny kolem očí. Zaznamenané potenciály se pohybují v rozsahu 15-200  $\mu\text{V}$  s nominální citlivostí řádově 20  $\mu\text{V}/1^\circ$  pohybu oka. Tato technika měří pohyby očí vzhledem k poloze hlavy. Nelze tedy využít k měření bodu pozornosti, pakliže není také měřena poloha hlavy, např. za pomoci head trackeru. Na obrázku 8 je znázorněno umístění elektrod na obličeji v okolí očí. [16]

*Obrázek 8 - Umístění elektrod u metody EOG [16]*



#### 4.5.2 Scleral contact lens

Touto metodou je možné získat jedny z nejpřesnějších výsledků. Kontaktní čočka, na které je připevněn mechanický nebo optický referenční předmět, je umístěna přímo na oku. První zařízení, jež bylo zkonstruováno, využívalo sádrové misky, ke které byl připevněný drát zajišťující záznam očních pohybů pomocí pera (Delabarre). Tato technika se vyvinula k použití moderní kontaktní čočky, která je umístěna přes rohovku a bělimu. K montážní stopce, která je připevněna ke kontaktní čočce, byla umístěna různá mechanická či optická zařízení obsahující například drátěnou cívku či fosfor.

Metoda využívá drátovou cívku. Poloha a orientace cívky, a také oka, se vypočítala pomocí měření změn elektromagnetického pole. Vložení čočky do oka je náročné a vyžaduje opatrnost a praxi. I když je tato metoda jednou z nejpřesnějších, jde také o metodu nejinvazivnější. Nošení čočky v oku způsobuje značné nepohodlí. Stejně tak jako metodou EOG je měřena pouze polohu očí vzhledem k poloze hlavy a není tak vhodná pro měření bodu pozornosti. Na obrázku 9 je zobrazena kontaktní čočka s drátovou cívkou. [16]

*Obrázek 9 - Kontaktní čočka s drátovou cívkou [5]*



#### 4.5.3 Photo-OculoGraphy a Video-OculoGraphy

POG a VOG, neboli zkratky foto-okulografie a video-okulografie, je kategorií, která sdružuje široké spektrum technik záznamu pohybu očí zahrnující měření rozlišitelných rysů očí při rotaci. Použití najde zejména u detekce tvaru zornice, pozice limbu (hranice bělimy a rohovky) a u odrazů rohovky od blízko umístěného světelného zdroje (často infračerveného).

Měření očních rysů těmito technikami může a nemusí být prováděno automaticky a rovněž může zahrnovat vizuální kontrolu zaznamenaných očních pohybů (běžně



zaznamenaných na přenosné médium). Ruční vizuální hodnocení dat (např. z přenosného média ve video formátu procházením snímků po snímku) je velmi náročné, únavné a náchylné k chybám a rovněž je omezeno vzorkovací frekvencí daného video zařízení. Některé z těchto metod vyžadují fixní upevnění hlavy. [16]

Použitím fotodiod namontovaných na brýlích, jež jsou zobrazeny na obrázku 10, a použití infračerveného světla je možné automaticky sledovat pozici limbu. Výhodou je, že oproti zornici není velikost limbu ovlivněna různými světelnými podmínkami. Nevýhodou však je časté překrytí limbu očními víčky. [5] [16]

*Obrázek 10 - Zařízení sledující pozici limbu [16]*



#### **4.5.4 Video-Based Combined Pupil/Corneal Reflection**

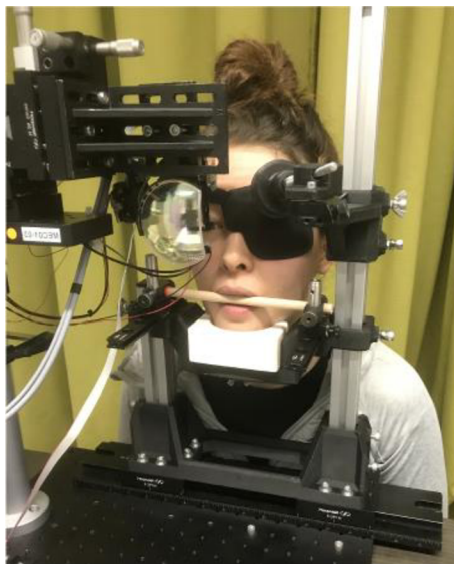
Uvedené techniky měření očních pohybů jsou obecně vhodné, neposkytují však měření bodu pozornosti. Aby bylo možné toto měření provést, je nutné hlavu zafixovat tak, aby se poloha oka vzhledem k hlavně a zorného bodu shodovala, případně musí být změřeno více očních rysů v daném pořadí k odlišení pohybu hlavy a rotace očí. Dvěma takovými očními rysy jsou nejčastěji infračervené odrazy od rohovky a pozice středu zornice.

Sledovací technika založená na videu využívá relativně levných kamer. Hardware daného sledovacího zařízení obraz zpracovává a výpočet bodu pozornosti je zobrazován v reálném čase. Zařízení lze umístit na stůl nebo jej upnout na hlavu. Optika obou zařízení je prakticky stejná, daná zařízení se liší pouze ve velikosti samotné. Vzhledem ke své příznivé ceně jsou nejvhodnější pro použití v interaktivních systémech.

Odraz infračerveného světla od rohovky je měřen v relativní vzdálenosti ke středu zornice. Tato sledovací zařízení využívají DPI (Dual Purkinje Images), resp. využívají P1 a P4 (viz kapitola 4.3). Hlavním bodem je bod P1, tedy odraz infračerveného světla od rohovky, kde mohou eye-trackery s vhodnou kalibrací měřit respondentův bod pozornosti na vhodně umístěné ploše, kde se kalibrační body nacházejí. K oddělení pohybů oka od hlavy jsou nutné dva referenční body. Rotací oka se mění poziční vzdálenost mezi středem zornice a odrazem rohovky. Pakliže se hlavou konají pouze malé pohyby, poziční vzdálenost zůstává relativně konstantní. [16]

Zdroje infračerveného světla jsou obvykle umístěny ve stabilní poloze vůči oku. Purkyňův obrázek P1 tak zůstává relativně stabilní i pokud se oční bulvy otáčejí. Tzv. eye-trackery 5. generace je měřen také P4, resp. odraz od vnitřního povrchu čočky. Problémem zde je zejména to, že P4 je oproti P1 asi 400x slabší. DPI tracker je schopen P1 a P4 oddělit od posuvných a rotačních pohybů oka. Ačkoliv jsou DPI trackery relativně přesné, může být vyžadována fixace hlavy, případně i zubů. Příklad DPI trackeru je zobrazen na obrázku 11. [5] [16]

*Obrázek 11 - DPI tracker*



Zdroj: <https://dl.acm.org/doi/fullHtml/10.1145/3379155.3391330>

#### **4.5.5 MOCAP**

Techniky Motion Capture, zkráceně MOCAP, jež jsou běžně používány pro vytváření speciálních efektů ve filmovém a herním průmyslu, a zařízení využívající techniku

MOCAP je vhodné porovnat s různými metodami sledování očních pohybů. Již na první pohled je vidět, že podobnost mezi MOCAP a eye-trackery je značná. Oba typy zařízení jsou využívána k tomu, aby zaznamenávala pohyb nějakého objektu v prostoru. Eye-trackery sledují pohyb očí, kdežto MOCAP obvykle sleduje a zaznamenává pohyb částí těla (např. pohyb ruky v lokti), případně pohyb celého těla. S využitím MOCAP na celé tělo je pak možné vytvořit 3D model, který je následně možné upravit dle požadavků zadavatele.

Zařízení, jež sledují pohyb očí a využívají technik MOCAP, lze seskupit pomocí stejné klasifikace, kterou používají zařízení pro snímání pohybu.

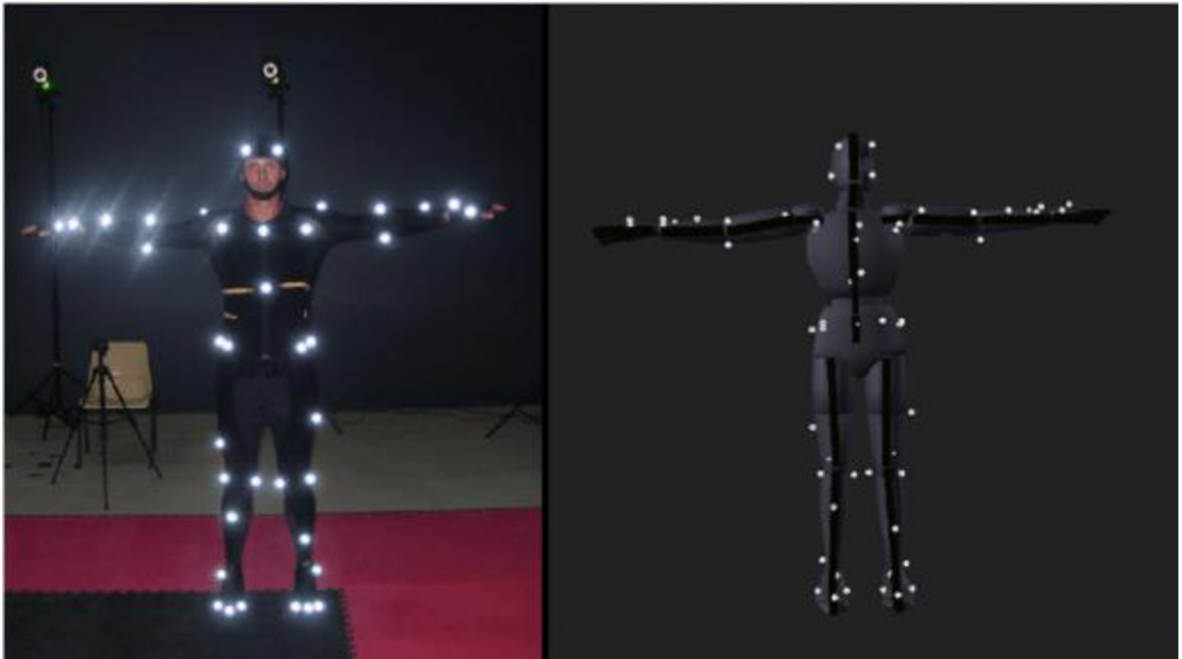
EOG je v podstatě rozuměno elektromechanické zařízení. Při použití technik MOCAP bývají senzory umístěny na kůži nebo kloubech, případně se využívá speciálních obleků. Při sledování očí eye-trackery jsou senzory umístěny na kůži kolem očí. Sledovače očí využívající kontaktních čoček jsou velmi efektivními elektromagnetickými sledovači. Kovová stopka připevněná ke kontaktní čočce je podobná ortogonálním cívkám, tj. cívkám svírajícím pravý úhel. Tyto cívky lze nalézt například ve VR (virtuální realitě), kde se používají jako senzory zjišťující polohu a orientaci hlavy a končetin.

Sledovače POG a VOG se hojně používají pro zachycování pohybů ve hrách, filmech se speciálními efekty nebo třeba v produkci videí. V těchto případech je použita kamera k záznamu „surového pohybu“, který se následně zpracovává, nejčastěji za pomoci digitálních prostředků pro výpočet dráhy pohybu daného objektu.

Sledovací technika založená na videu a odrazu rohovky je podobná zařízením využívající ke snímání optické snímače a reflexní značky, které bývají umístěny na sledovaném objektu/člověku. V obou případech je využíváno infračerveného světla, a to hlavně z důvodu, že jej lidské oko nevidí, a tak neodvádí pozornost od velmi pečlivého a náročného měření. [16]

Na obrázku 12 je znázorněna MOCAP technika v praxi.

Obrázek 12 - Motion Capture v praxi



Zdroj: <https://goterrestrial.com/2021/12/09/3-motion-capture-software/>

#### 4.5.6 Možnosti vizualizace dat

Množství dat, které je možné z eye-trackerů získat, není vůbec malé. Je proto vhodné uvést alespoň několik možností, jak data vizualizovat a prezentovat.

**Gaze plot** – ukazuje řetězec jednotlivých očních fixací, jejich dobu trvání a umístění na sledovaném objektu – jednotlivé fixace jsou znázorněny číslem, dle toho, v jakém byly pořadí, a s barevnou tečkou, která se zvětšuje s dobou fixace na daný bod – Obrázek 13. [20]

Obrázek 13 - Gaze plot



Zdroj: <https://imotions.com/blog/10-terms-metrics-eye-tracking/>

**Gaze video** – dynamická vizualizace jednotlivých bodů reprezentovaných pohyblivou tečkou, kterou je možné sledovat s reálném čase či ji spustit ze záznamu – umožňuje velmi rychlou kontrolu naměřených dat a lze je rovnou probrat s respondentem a vyhodnocovat [20]

**Heatmaps** – teplotní mapa ukazující dle barev množství vizuálních fixací nebo délku fixací očí – viz obrázek 7 (kap. 4.4)

**Area of Interest** – oblast zájmu, zkráceně AOI, je nástrojem, který je určen pro výběr oblastí zobrazeného podnětu pro hodnocení například dvou různých propagačních letáků na podobné zboží [20]

**Time to First Fixation** – zkráceně TTFF, udává dobu, kterou respondentovi trvá podívat se na konkrétní AOI od začátku stimulu [20]

**First Fixation Duration** – zkráceně FFD, poskytuje data o tom, jak dlouho se respondent díval na konkrétní AOI při spojení s TTFF [20]

**Total Fixation Duration** – zkráceně TFD, kvantifikuje množství času, které respondent strávil sledováním konkrétní AOI [20]

## 4.6 Asistence při řízení

Novodobá vozidla jsou často plna systémů, jež pomáhají řidiči zpříjemnit si cestu. Rovněž ale poskytují zvýšenou bezpečnost jak posádky, tak okolí kolem vozidla.

Aktivní a pasivní bezpečnostní prvky urazily za dobu existence vozidel dlouhou cestu. Od ochrany řidiče bez airbagu, přes hlavový airbag, boční airbag či airbag schovaný pod kapotou vozidla tlumící úraz účastníka před přídí vozidla. A to je jen jedna z mnoha vývojových větví bezpečnostních prvků.

### 4.6.1 Aktivní bezpečnostní prvky

Mezi prvky aktivní bezpečnosti se řadí ty prvky, které mají za úkol co nejvíce snížit, případně eliminovat, riziko vzniku dopravní nehody. Jsou to tedy systémy, technická zařízení a vlastnosti vozu působící před nehodou. Dříve se mezi prvky aktivní bezpečnosti řadily hlavně prvky zajišťující bezpečí a pohodlí na cestách (dobré jízdní vlastnosti, správná funkčnost brzdového systému atd.). Novodobě však jde především o elektronické asistenty.

Prvky aktivní bezpečnosti lze rozdělit do dvou druhů systémů, a to:

#### **a. Systémy podporující řidiče**

Řidič je nepřímo podporován tím, že je informován o aktuální situaci a je varován před případným nebezpečím, čímž získává řidič lepší přehled o situaci a může se tak lépe rozhodovat. Tyto systémy lze kdykoliv odpojit a fungovat bez nich, protože nemají kontrolu nad vozidlem. Veškerá zodpovědnost je však stále na řidiči.

Asistenty podporující řidiče mohou být například:

- Head-Up Display (HUD)
- GPS navigace
- Adaptivní tempomat
- Parkovací asistent
- Hlídaní mrtvého úhlu
- Noční vidění
- Mikrovlnné radary
- Systém udržování vozidla v jízdním pruhu
- Systém sledující únavu řidiče

#### **b. Systémy podporující vozidlo**

Na řidiče tyto systémy působí přímo, resp. řidič je není schopen svým způsobem ovládat. Prakticky pracují tak, že řidič mnohdy nepozná, že daný systém zasáhl. Je důležité, aby tyto systémy reagovaly rychle a přesně, proto pracují neustále na pozadí a monitorují okolí vozidla a stav vyhodnocují. V krizových situacích se tyto systémy automaticky aktivují a přeberou kontrolu nad vozidlem.

Asistenty podporující vozidlo mohou být například:

- Protiblokovací systém ABS
- Protiskluzový systém ASR
- Elektronický stabilizační program ESP
- Automatické nouzové brzdění Front Assist

## 1. Head-Up Display

HUD zobrazuje všechny důležité informace, které by řidič musel hledat na palubové desce (a sklápět tedy zrak), přímo na čelním skle v zorném poli řidiče. Systém je schopen zobrazit informace jako aktuální rychlost, navigační panel či výstražná upozornění, například maximální povolenou rychlost.

Informace jsou na sklo promítány pomocí projektoru a systému zrcadel umístěným v přístrojové desce. Z pohledu řidiče se holografický obraz vytvořený projektorem objevuje zhruba 2 metry před řidičem, zhruba na konci kapoty. To zlepšuje čitelnost údajů. Moderní HUD, nebo jinak nazývané průhledové displeje, jsou schopny se přizpůsobit aktuálním světelným podmínkám, takže obsah promítaný projektorem je vždy vidět. HUD jde samozřejmě kdykoliv vypnout, jedná se pouze o doplněk zlepšující soustředěnost řidiče na řízení. Znázorněn je na obrázku 14. [21]

Obrázek 14 - Head-Up Display



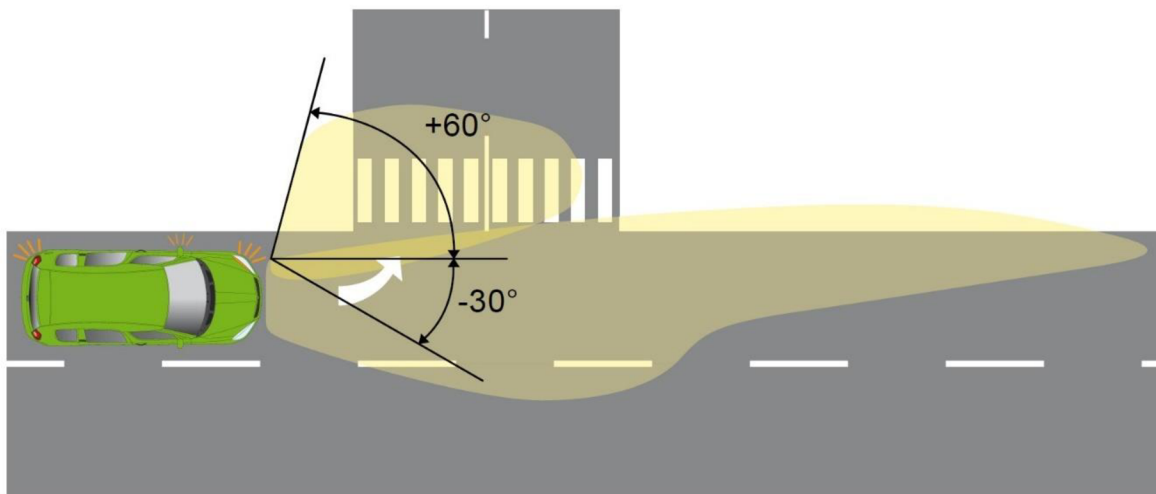
Zdroj: <https://www.carmagazine.co.uk/car-news/tech/what-is-a-head-up-display-hud-how-does-it-work-and-is-it-worth-the-money/>

## 2. Funkce Corner

Světlomety vybavené funkcí Corner zajišťují zvýšení aktivní bezpečnosti tím, že přední světlomety nasvítí vozovku při nízkých rychlostech v průběhu zatáčení či při parkování. Tento přísvit zajišťují přední mlhová světla. Systém s funkcí Corner vyhodnotí úhel natočení volantu a rychlost vozidla a v závislosti na těchto faktorech rozsvítí levé či pravé mlhové světlo. Následně je osvětlen prostor vedle vozidla dle směru otáčení pod úhlem zhruba  $60^\circ$ . Funkce je aktivní do rychlosti 40 km/h. Při vyšších rychlostech se automaticky vypíná.

Tato funkce napomáhá řidiči vozidla zvýšit přehled o situaci před vozidlem, takže je schopen rychleji reagovat na překážky, osoby nebo zvířata například v zatáčkách. Novější verze funkce Corner také napomáhá parkování, kdy jsou při zařazení zpátečky rozsvícena obě přední mlhová světla naráz, aby byl ještě více osvětlen prostor před vozidlem. Princip přísvitu do zatáčku je zobrazen na obrázku 15. [22]

Obrázek 15 - Funkce Corner [22]



## 3. Adaptivní tempomat

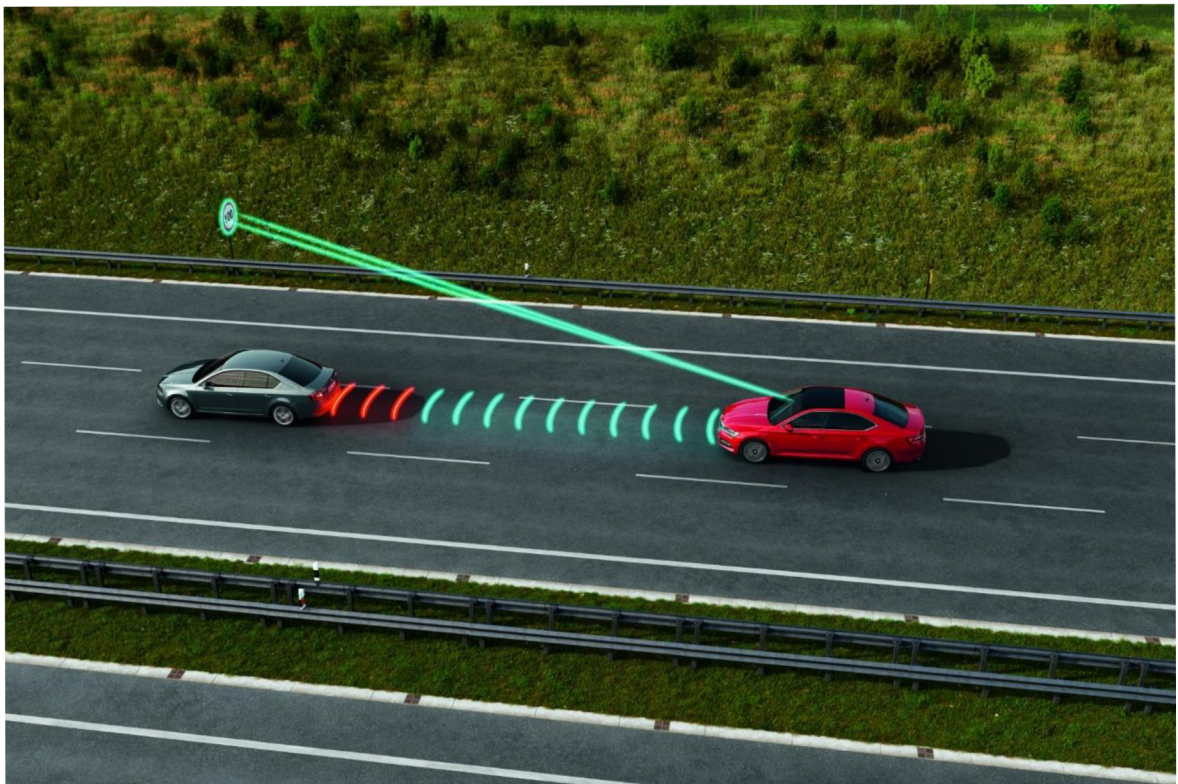
Tempomat je zařízení umožňující nastavit rychlost, kterou řidič chce a automaticky nastavenou rychlost konstantně udržuje na nastavené hodnotě. Adaptivní tempomat je oproti klasickému tempomatu, který musí řidič ovládat v případech, kdy je například nutné zpomalit, prediktivní a lze jej považovat za určitou vývojovou úroveň autonomního řízení.



Adaptivní tempomat pracuje se senzory, které monitorují prostor před vozidlem, vyhodnocují danou situaci a automaticky regulují rychlost tak, aby byla dodržena bezpečná vzdálenost mezi vozidly. Některé adaptivní tempomaty jsou schopny i zcela zastavit a opět se samostatně rozjet. Stejně tak jako lze navolit rychlost, lze navolit i vzdálenost, kterou bude vozidlo udržovat od před ním jedoucího vozidla. Obvykle lze nastavit 5 stupňů vzdáleností, jejichž použití se liší dle toho, zda se jede ve městě či mimo město.

Největší přidanou hodnotu má adaptivní tempomat při spojení s automatickou převodkou, s kterou lze využívat adaptivní tempomat i v dopravních kongescích. S manuální převodkou není toto použití zcela možné, protože si není převodovka schopna sama snížit či zvýšit převodový stupeň. Může se také stát, obzvláště v zimním období, že je senzor pokryt sněhem a již není schopen udržovat vzdálenost mezi vozidly. V tomto případě se přepne adaptivní tempomat na klasický tempomat. Princip je znázorněn na obrázku 16. [23]

*Obrázek 16 - Adaptivní tempomat [23]*



#### 4. Systém kontrolující bdělost řidiče

Systém DAC, Driver Alert Control, s nímž přišla automobilka Volvo je trochu jiný než systémy kontrolující řidičovu bdělost od jiných automobilek. DAC sbírá data o celkovém chování automobilu za jízdy. Z pohledu automobilky se jedná o systém, který je schopen vyhodnocovat situace lépe než systémy sledující oči řidiče.

S daty, která DAC sbírá a následně vyhodnocuje, je systém schopen předem odhadnout riziko snížené koncentrace řidiče. Samočinně systém funguje od rychlosti vozidla 60 km/h. Díky monitorování pohybu vozidla je DAC schopen rozeznat kontrolovanou jízdu od jízdy nekontrolované.

Celý systém DAC je kombinací senzorů, řídicí jednotky a kamery umístěné pod zpětným zrcátkem. Sensory snímají pohyb vozidla ve všech směrech. Kamera je namířena ven z vozidla ve směru jízdy, který neustále sleduje a rovněž sleduje vzdálenost vozidla od vodorovného značení. Řídicí jednotka data zaznamenává a porovnává s již uloženými hodnotami. Dle tohoto porovnání řídicí jednotka vyhodnocuje, zda je řidič unavený a pakliže je, řídicí jednotka vyšle akustický signál a na přístrojové desce se objeví symbol šálku s kávou a informací, aby si řidič udělal pauzu. Systém dokáže také ukázat míru únavy na pětibodové stupnici. Systém DAC je znázorněn na obrázku 17. [24]

Obrázek 17 - Systém DAC [24]



#### 5. Lane Assist

Tento systém za pomoci kamerového modulu, který se nachází v uchycení vnitřního zpětného zrcátka, snímá vodorovné dopravní značení daného jízdního pruhu a rovněž vyhodnocuje pozici vozidla.

Lane Assist má dva hlavní režimy:

#### a. Zabránění vyjetí vozidla z jízdního pruhu

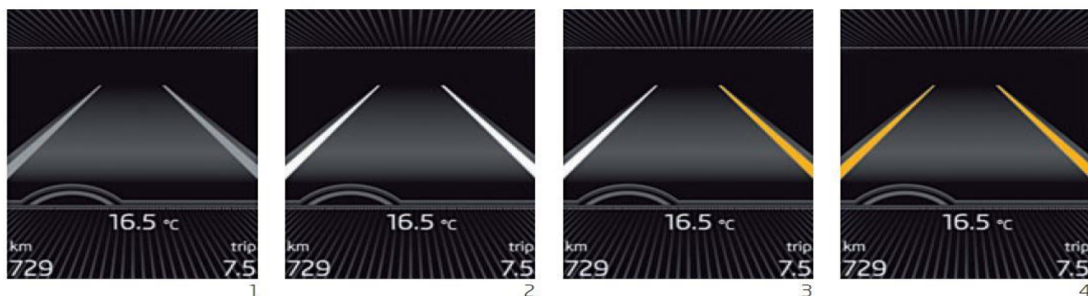
System je aktivní od rychlosti 65 km/h. V případě vyjetí mimo vodorovné značení systém automaticky zakročí lehkým protipohybem volantu, aby vozidlo zůstalo stále v jízdním pruhu. Neaktivní je pak v případech, kdy je zapnuté směrové světlo či když jede vozidlo pod 60 km/h. Sílu protipohybu lze vždy překonat a výše této síly lze nastavit v infotainmentu vozidla.

#### b. Adaptivní vedení vozidla v jízdním pruhu

Cílenými zásahy do řízení lze vozidlo udržovat v jízdní dráze. Kamera detekuje čáry vodorovného dopravního značení a systém zajišťuje udržení vozidla v pruhu. Vzdálenost od čar nemusí být na obou stranách stejná. Celou dobu musí mít řidič ruce na volantu a věnovat se řízení. Pakliže nejsou tyto podmínky splněny, systém detekuje, že řidič nemá ruce na volantu a po 10 sekundách je řidič varován, že Lane Assist přestal asistovat v jízdě.

Chvil, kdy systém nemusí fungovat, je celá řada. Vodorovné značení může být ve špatném stavu, které tak nemůže být rozpoznáno kamerou. Vzdálenost mezi vozidly není dostatečná a systém není schopen detekovat vodorovné značení. Lane Assist je také náchylný na okolní podnebí. Kamera nemusí být schopna rozeznat vodorovné značení při sněžení, silném dešti, při oslnění čočky kamery sluncem či při jízdě v mlze. Na obrázku 18 je znázorněn infotainment systému Lane Assist s jeho možnými činnostmi. [25] [26]

Obrázek 18 - Lane Assist [25]



Poznámka k obrázku 18:

1. systém aktivní, nepřipraven k zásahu do řízení
2. systém aktivní, připraven k zásahu do řízení
3. systém zasahuje do řízení – přiblížení se k pravé čáře vodorovného značení
4. systém zasahuje do řízení – adaptivní vedení vozidla v pruhu [25]

## 6. Area View

Vozidla z koncernu VW mohou být vybavena systémem „Area View“, který sleduje dění kolem vozidla. Čtyřmi kamerami, které jsou rozmístěny tak, aby snímaly celý prostor kolem vozidla, je obraz přenášen na infotainment vozidla, díky čemuž je mnohem jednodušší manévrování v úzkých prostorech či například umožňuje řidiči přesně zajet k oji přívěsu. Obrazy, které kamery snímají, umožňují při spojení výpočet pohledu z ptáčích perspektivy. Systém je znázorněn na obrázku 19. [27]

Obrázek 19 - Area View [26]



## 7. Noční vidění

Infračervená termokamera instalovaná do předního nárazníku umožňuje předat informace o změnách na vozovce, za tmy, se značným předstihem. Jelikož je termokamera citlivá na vyzařované teplo, je schopna zachytit osoby, zvířata a předměty, které by bylo možné vidět lidským okem až při dostatečném osvětlení reflektory. Obvykle infračervená kamera monitoruje prostor o vzdálenosti zhruba 300 metrů před vozidlem.

Celkový obraz daného tepelného bodu, i s jeho případným zvýrazněním, bývá řidičovi zobrazen na palubní desce, a to buď v infotainmentu či na palubním počítači. Díky dosahu infračervené kamery a rychlému upozornění na palubní desce je řidič schopen včas reagovat na potenciální nebezpečí. Pro tento systém nebývají překážkou ani horší podmínky, jako například mlha či déšť. Princip systému je znázorněn na obrázku 20. [28] [29]

Obrázek 20 - Night Vision [29]



## 8. Brzdový asistent

Zkráceně BAS (Brake Assist) je zařízením, které řidiči pomáhá v situacích, kdy je nutné kritické brždění. Pokud není brzdový pedál stlačen dostatečnou silou, snímač brzdového asistenta takovou situaci rozpozná a následně ještě zvýší sílu, která tlačí na brzdový pedál a zajistí tak ještě vyšší účinek brždění. BAS spolupracuje s posilovačem brzd a s ABS. Provedenými zkouškami bylo zjištěno, že se při použití BAS zkrátila brzdná dráha o 15 – 20 % v závislosti na zkušenostech řidiče. [30]

## 9. Front Assist

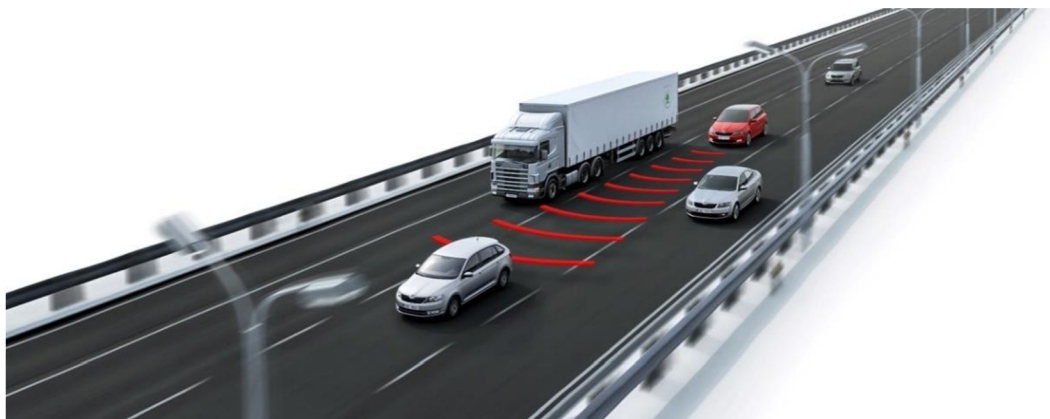
Prvkem, který varuje před potenciální kolizí či se automatickým bržděním vozu pokouší kolizi zabránit, je Front Assist. Základem tohoto prvku je radar, který zpravidla bývá umístěn v předním nárazníku. Tento radar vysílá a přijímá mikrovlnný signál a na základě příjmu vln odražených od objektu před vozidlem řídicí jednotka vypočítává relativní rychlost objektu a vzdálenost od objektu. Funkce je znázorněna na obrázku 21.

Front Assist má 4 fáze, ve kterých operuje:

1. upozornění na nedodržení kritické vzdálenosti od objektu vpředu
2. předběžná výstraha, při které se brzdový systém připraví do pohotovosti (natlakování brzdového systému a dosednutí brzdových destiček ke kotouči); řidič je informován akusticky a zobrazením varování na přístrojové desce – v případě reakce bržděním varování zhasne

3. pokud řidič stále nereaguje na výstrahu systému a kritická vzdálenost se snižuje, dojde k varovnému trhnutí brzd se slabou intenzitou brždění
4. v případě minimální kritické vzdálenosti dochází k automatickému brzdnému zásahu se silnou intenzitou brždění [31]

Obrázek 21 - Front Assist [31]



## 10. Blind Spot Detect

Tento asistenční systém neustále sleduje vzdálenost vozidel a jejich rychlost po obou stranách vozidla. V případě, kdy se jiné vozidlo přiblíží k řidičovu vozidlu z boku a již není vidět ve zpětném zrcátku, systém rozsvítí kontrolku umístěnou ve zpětném zrcátku. Díky této informaci řidič ví, že se jiné vozidlo nachází v mrtvém úhlu a v případě snahy přejet do pruhu vozidla, které je v dané chvíli v mrtvém úhlu, se kontrolka rozbliká, aby řidiče ještě více upozornila. Funkce je znázorněna na obrázku 22. [32]

Obrázek 22 - Blind Spot Detect



Zdroj: ŠKODA Auto a.s.

#### 4.6.2 Pasivní bezpečnostní prvky

Oproti aktivním bezpečnostním prvkům přicházejí na řadu pasivní prvky až v okamžiku havárie. Tyto prvky jsou konstruovány tak, aby minimalizovaly dopady dopravní nehody.

Prvky pasivní bezpečnosti mohou být například:

- Bezpečnostní pásy
- Vhodná konstrukce sedaček a opěrek hlavy
- Konstrukce karoserie se správnými deformačními zónami
- Ukotvení dětských sedaček systémem ISOFIX
- eCall zajišťující automatické vytočení čísla tísňové linky po nehodě
- Hlavové, boční a další airbasy uvnitř vozidla
- Pop-Up Bonnet – systém, který při čelním nárazu s chodcem aktivuje airbag v kapotě a minimalizuje tak poranění chodce [33]

## 5 Praktická část práce

V následujících podkapitolách bude popsáno měřicí zařízení, kterým byla respondentům měřena oční aktivita. Rovněž bude znázorněna trasa, kterou respondenti absolvovali při měření s detailnějším pohledem na sledované objekty.

Faktorů, které mohou ovlivnit řidičovu pozornost, může být mnoho. Daly by se však rozdělit do tří kategorií:

- řidič: únava, požití alkoholu či drog, emoce, mobilní telefon v ruce, limity lidských očí (krátkozrakost, dalekozrakost)
- počasí: mlha, déšť, sněžení, oslnění sluncem
- vozidlo: špatně seřízené sedadlo a zpětná zrcátka, špinavá skla a zrcátka

### 5.1 Tobii Pro Glasses 3

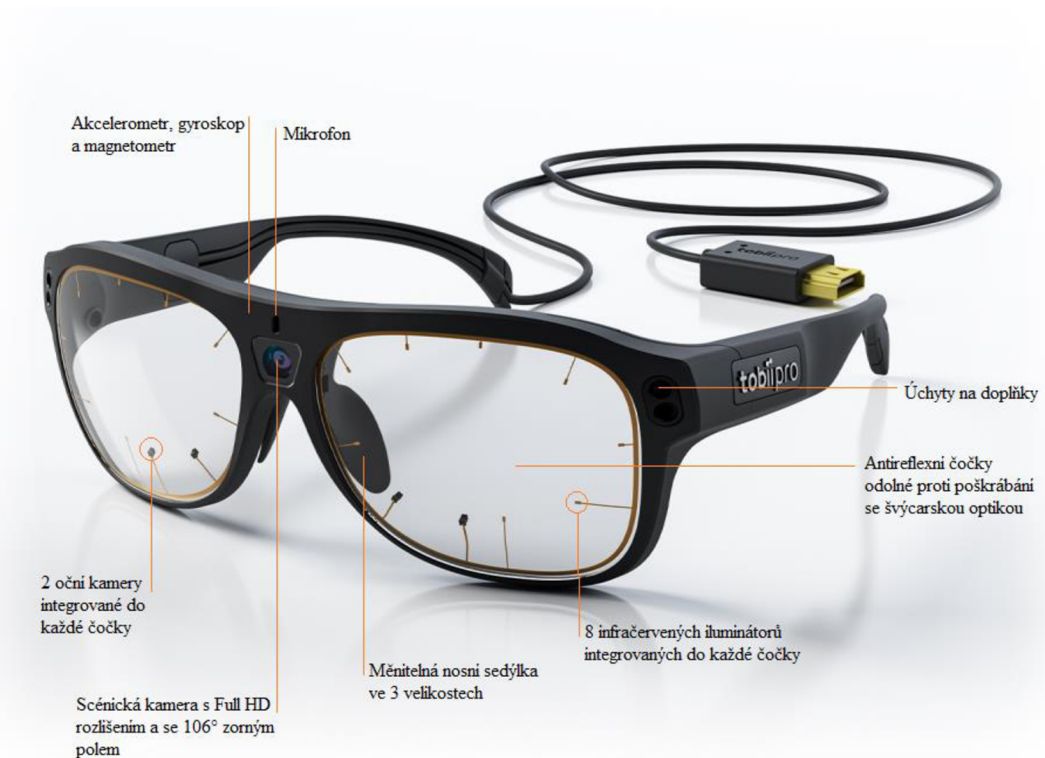
Měření v provozu bylo provedeno se sledovacími brýlemi Pro Glasses 3. Tyto brýle jsou posledním modelem, který společnost Tobii uvedla na trh. Navrženy byly pro výzkum v reálném světě bez nutnosti snižování kvality dat a snižování spolehlivosti.

Brýle Pro Glasses 3 jsou navrženy tak, aby respondentovi neomezovaly a mohlo tak dojít k přirozeným pohybům hlavy a očí. Zorné pole očí je tak zachováno jako bez brýlí. Díky robustní konstrukci je možné brýle využívat i pod helmou nebo jinou ochranou hlavy.

Snímání pohybu očí zajišťují 4 oční kamery (2 na každém skle brýlí) a 16 infračervených svítlen (IR illuminator), které jsou vsazeny po 8 svítelnách do čoček brýlí, aby se zamezilo riziku jejich poškrábání (viz kap. 4.5.4). Tyto kamery a svítlny jsou umístěny po vnějších hranách čoček, což umožnilo jejich optimální umístění a respondentovi je poskytnut nerušený výhled. Směr pohybu sleduje Full HD scénická kamera s širším, 106° zorným polem, resp. 95° vertikálně a 63° horizontálně. Tato kamera je umístěna ve středu brýlí v prostoru těsně nad dosedem na nos. Nad kamerou se také nachází mikrofon schopný zaznamenávat zvuky v okolí. Rovněž jsou v rámu nad kamerou umístěny senzory, resp. akcelerometr, gyroskop a magnetometr, kterými systém rozlišuje, zda se jedná o pohyby hlavy nebo očí. Brýle i s popisky jsou zobrazeny na obrázku 23.



Obrázek 23 – Tobii Pro Glasses 3



Zdroj: Tobii Pro, upraveno

Pro záznam sledování pohybu očí je nutné připojit brýle přes HDMI rozhraní do záznamové jednotky. Baterie v záznamové jednotce pak zajišťuje ukládání záznamu na SD kartu a napájení brýlí. Postup měření je možné sledovat živě přímo v aplikaci Glasses 3, která je dostupná jak pro počítače s operačními systémy Windows a macOS, tak i pro mobilní telefony s operačním systémem Android.

Výstupem měření je videozáznam, který lze dále zpracovávat programem Tobii Pro Lab, ve kterém je možné získat data o tom, jak dlouho daný respondent sledoval přechod pro chodce a chodce po přechodu přecházející. [34]

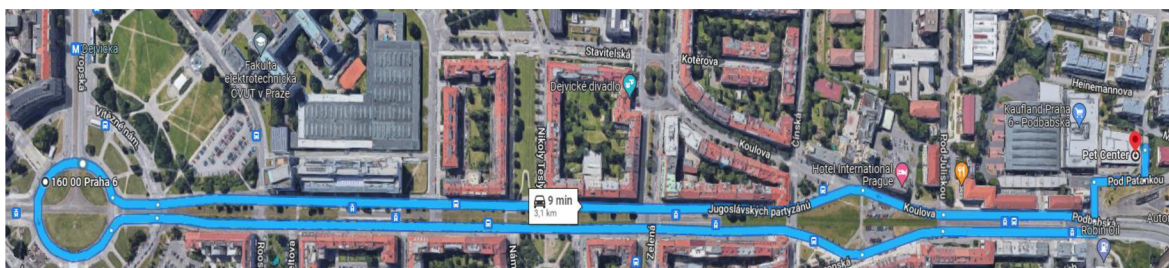
## 5.2 Příprava měření

### 5.2.1 Trasa

Pro měření byla vybrána 3,1 km dlouhá trasa s velkým množstvím přechodů pro chodce, vedoucí z parkoviště u obchodu Pet Center, jež spadá pod obchodní centrum

Podbaba, na okružní křižovatku na Vítězném náměstí v pražských Dejvicích. Parkoviště se nachází vedle obchodu Pet Center na adrese Pod Pařankou 2750/1c, 160 00, Praha 6. Na obrázku 24 je znázorněna trasa, na níž bylo měření provedeno.

Obrázek 24 - měřená trasa



Zdroj: Google Maps

Na této trase se nachází standardně 29 přechodů pro chodce, resp. počet přejetí vozidlem přes přechod je 29. V době měření zde byl vytvořeny dva další dočasné přechody pro chodce, a to v blízkosti ČVUT, kvůli probíhajícím pracím na pozemku v blízkosti okružní křižovatky. Z tohoto důvodu byly také dočasně zrušeny dva přechody pro chodce v blízkosti autobusové zastávky na Vítězném náměstí. S těmito přechody je však počítáno, protože i přes značení, že se nemají dočasně využívat k přecházení, na ně jsou lidé zvyklí a využívají je. Počet přechodů v době měření je tedy 31, resp. počet přejetí přechodů během měření, a to 15 směrem k okružní křižovatce a 16 směrem k OC Podbaba.

Přechody lze dále rozdělit na přechody se světelnou signalizací a bez světelné signalizace. Se světelnou signalizací je 9 přechodů a v rámci měření nebyly brány v potaz. Celkem tedy řidič přejezdí 22x přes značení přechodu pro chodce bez světelné signalizace na měřené trase.

### 5.2.2 Podmínky při měření

Veškerá měření byla prováděna během dne za slunečného počasí a to jak v dopoledních, tak v odpoledních hodinách. Při měření bylo využito pro všechny řidiče stejného vozidla Škoda Octavia II, aby byly podmínky jednotlivých respondentů co možná nejpodobnější. Zde se musí vzít v úvahu možná změna výhledu z vozidla, protože každý má jinou postavu a musí si tak posunout sedadlo, snížit/zvýšit polohu sedadla, upravit sklopení sedadla či si upravit výšku volantu. Rychlost vozidla při měření se pohybovala většinou okolo 40 – 50 km/h a v průběhu se pohybovalo standardním způsobem městského provozu.

### 5.2.3 Instalace a kalibrace

Pro správný průběh měření je nutné správné nasazení brýlí a jejich následná kalibrace. Postup instalace a kalibrace je vysvětlen v následujících bodech:

1. Nasazení brýlí na hlavu respondenta s nosním sedýlkem dle tvaru nosu, kontrola správného nasazení a dotažení popruhu, aby byly brýle fixně umístěny, v týlu.

2. Propojení brýlí přes HDMI rozhraní se záznamovou jednotkou, vložení SD karty a baterie do záznamové jednotky a následné zapnutí systému.

3. Zapnutí aplikace na počítači či mobilním telefonu a připojení daného zařízení přes Wi-Fi síť k trackovacím brýlím.

4. Výběr režimu záznamu, zde volen režim „Full Analysis Mode“, kde jsou zaznamenávána všechna data a je s nimi poté možno pracovat.

5. Kalibrace brýlí je prováděna tak, že daný respondent, který má na hlavě nasazené brýle a jsou splněny všechny předchozí body instalace, si vezme kalibrační kartičku (Obrázek 25) a dá ji od sebe na délku své paže, přičemž kartičku stále drží. Osoba pracující s měřicí aplikací respondenta vyzve, aby se svým pohledem zaměřil na středový kruh kalibrační kartičky a rovněž v aplikaci kontroluje, zda bylo dosaženo požadovaného výstupu. Červený kruh zde reprezentuje místo, kam se respondent dívá. Zelený kruhem je znázorněna kalibrační značka ukazující, co kalibrace sleduje. V případě neúspěšné kalibrace musí být kalibrace provedena znovu. V opačném případě je respondent připraven na měření očních pohybů.

*Obrázek 25 - kalibrační kartička*



Zdroj: Tobii Pro

### 5.3 Měření

Celkový počet respondentů, se kterými bylo měření prováděno, je 3. S každým respondentem byla provedena 3 po sobě jdoucí měření a to vždy na stejné trase. Před každým měřením byla provedena kalibrace, aby byla získána data co nejpřesnější.

Jednotliví respondenti jsou označeni jako R1, R2 a R3. Respondentům bylo položeno několik otázek, které jsou i s jejich odpověďmi zaznamenány v tabulce 1 níže.

Tabulka 1 - dotazník k měření

	R1	R2	R3
Pohlaví	muž	muž	muž
Věk	24	24	24
Doba vlastnění řidičského oprávnění (roky)	6 let	6 let	6 let
Aktivní řidič (A/N)	ano	ano	ano
Řízení probíhá častěji mimo obec nebo ve městě?	mimo obec	mimo obec	ve městě
Brýle nebo kontaktní čočky	ne	ne	ne
Pravidelná jízda po měřené trase	ne	ano	ano
Bylo použití brýlí nepohodlné?	ne	ne	ne

Zdroj: vlastní

Délka jednotlivých měření byla vždy závislá na aktuální dopravní situaci. Čas jednotlivých měření se pohyboval v rozmezí od 7 minut a 39 sekund do 14 minut a 32 sekund. Všechna měření byla provedena mezi 11 hodinou ranní a 17 hodinou večerní. V následující tabulce 2 jsou uvedeny časy jednotlivých měření respondentů.

Tabulka 2 - délka jednotlivých měření

	R1	R2	R3
1. měření	14 min, 32 s	10 min, 28 s	7 min, 39 s
2. měření	12 min, 0 s	10 min, 57 s	12 min, 04 s
3. měření	11 min, 52 s	11 min, 41 s	9 min, 58 s

Zdroj: vlastní

Gaze samples, neboli procentuální zachycení pohybu očí kamerou v průběhu měření, se u každého z respondentů lišilo v jednotkách procent. V tabulce 3 jsou uvedeny hodnoty jednotlivých gaze samples.

*Tabulka 3 - procentuální zachycení pohybu očí*

	R1	R2	R3
1. měření	98 %	94 %	89 %
2. měření	97 %	92 %	87 %
3. měření	98 %	94 %	89 %

Zdroj: vlastní

Průměrná hodnota gaze samples všech respondentů ze všech měření je 93,11 %. Dle výrobce brýlí mrkání obvykle způsobuje 5 – 10 % ztrátu dat v průběhu měření pohybu očí. [35]

Toto splňuje pouze respondent R2. U respondenta R3 toto rozmezí bylo překročeno o 1 – 3 %, což je přisuzováno faktu, že testovací trasu dobře zná a pravidelně jezdí v městském provozu. Na druhé straně hodnota gaze samples respondenta R1 se pohybovala velmi blízko hranici 100 %. To je přisuzováno faktu, že tento respondent není zvyklý jezdit v městském provozu a testovací trasu nezná a sleduje tak více své okolí.

Obrázek 26 zobrazuje výhled řidiče z testovaného vozidla. Na obrázku 27 je znázorněna mapa s vyznačenými kontrolními body. Těmito body je myšleno přejetí přes značení přechodu pro chodce (ať se již jedná o přechod pro chodce či jeho část).

*Obrázek 26 - výhled z vozidla*



Zdroj: vlastní

Obrázek 27 – kontrolní body na měřeném úseku, legenda



**Legenda k obrázku 26**

- 1, 22 - přechod u parkoviště obchodu Pet Centrer
- 2, 21 - přechod v ulici Pod Paťankou
- 3 - přechod v ulici Koulova  
*LED osvětlení přechodu*
- 4 - přechod na křížení ulic Jugoslávských partyzánů a Čínská
- 5 - přechod na křížení ulic Jugoslávských partyzánů a Nikola Tesly
- 6 - přechod na křížení ulic Jugoslávských partyzánů a Velflíkova
- 7 - přechod v ulici Jugoslávských partyzánů u ČVUT
- 8 - přechod v ulici Jugoslávských partyzánů u ČVUT  
*LED osvětlení přechodu*
- 9 - dočasný přechod na křížení ulic Jugoslávských partyzánů a Šolínova u ČVUT
- 10 - dočasně zrušený přechod na křížení ulic Jugoslávských partyzánů a Vítězné nám.
- 11 - přechod v ulici Vítězné nám. při vjezdu do okružní křižovatky
- 12 - přechod v ulici Vítězné nám. při výjezdu z okružní křižovatky
- 13 - dočasně zrušený přechod na křížení ulic Vítězné nám. a Jugoslávských partyzánů
- 14 - dočasný přechod na křížení ulic Jugoslávských partyzánů a Rooseveltova u ČVUT
- 15 - přechod na křížení ulic Jugoslávských partyzánů a Rooseveltova  
*LED osvětlení přechodu*
- 16 - přechod na křížení ulic Jugoslávských partyzánů a Lotyšská
- 17 - přechod na křížení ulic Jugoslávských partyzánů a Velflíkova
- 18 - přechod v ulici Jugoslávských partyzánů
- 19 - přechod v ulici Jugoslávských partyzánů  
*LED osvětlení přechodu*
- 20 - přechod na křížení ulic Jugoslávských partyzánů a Terronská

Zdroj: Google Maps, upraveno

Tabulka 4 - naměřená data respondenta R1

RESPONDENT R1	Délka trvání oční fixace v sekundách			Chodci na přechodu A/N		
	Měření č. 1	Měření č. 2	Měření č. 3	Měření č. 1	Měření č. 2	Měření č. 3
1	3,000	1,000	1,746	N	N	N
2	2,000	0,800	0,980	N	N	N
3	2,030	2,244	2,680	N	N	A
4	1,500	2,800	9,748	N	N	A
5	3,253	1,409	3,196	N	N	A
6	2,875	2,670	2,427	N	N	N
7	4,500	0,780	2,437	N	N	N
8	33,336	2,997	2,848	A	N	N
9	1,010	1,944	2,048	N	N	N
10	8,997	2,960	1,501	A	N	N
11	6,248	2,040	2,005	N	N	N
12	12,000	3,676	3,462	A	N	N
13	0,915	1,800	1,025	N	N	N
14	1,000	1,223	1,430	N	N	N
15	1,900	1,488	1,245	N	N	N
16	1,925	5,752	0,556	N	A	N
17	2,575	0,750	1,250	N	N	N
18	3,395	2,503	1,760	N	A	N
19	4,754	1,556	3,947	A	N	N
20	1,500	0,738	1,249	N	N	N
21	3,753	1,535	1,000	A	N	N
22	1,660	1,499	4,356	N	N	N

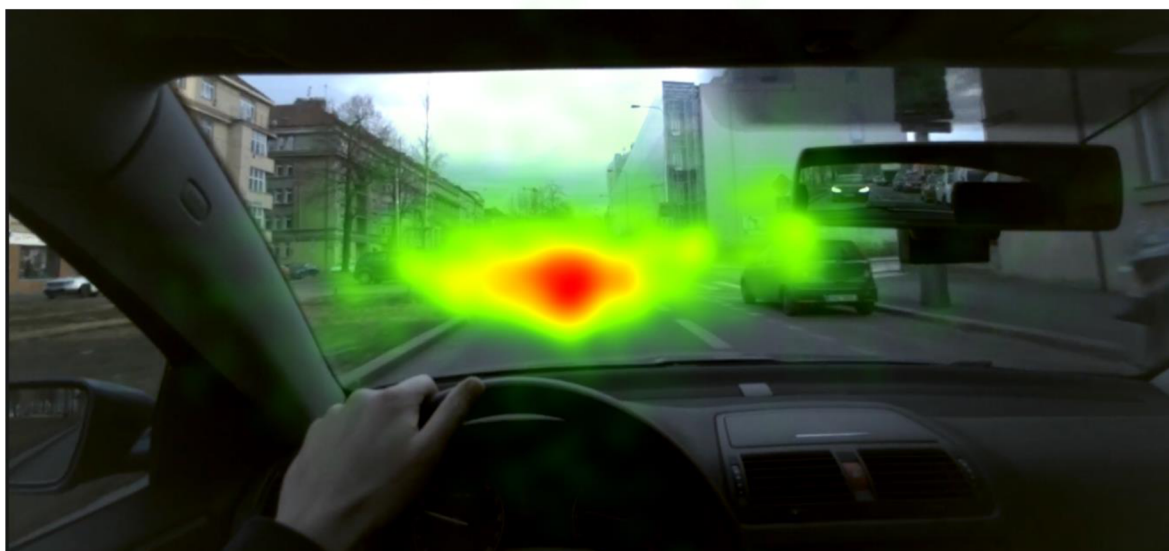
Zdroj: vlastní

Tabulka 5 - celkový čas očních fixací na přechodech a procentuální vyjádření ku celé trase respondenta R1

<i>Respondent R1</i>	<i>Celkový naměřený čas trvání očních fixací v sekundách</i>	<i>% vyjádření trvání očních fixací k trvání celé trasy</i>
<i>1. měření</i>	104,126	11,941
<i>2. měření</i>	44,164	6,134
<i>3. měření</i>	52,896	7,429

Zdroj: vlastní

Obrázek 28 - heatmapa respondenta R1



Zdroj: vlastní

Heatmapa na obrázku 28 ukazuje, kam se respondent R1 díval v průběhu všech 3 měření. Je zde vidět, že největší část zabírá pohled vpřed, dále pak koukání se do středového zpětného zrcátka a nakonec pak koukání se do bočních zpětných zrcátek.



Tabulka 6 - naměřená data respondenta R2

RESPONDENT R2	Délka trvání oční fixace v sekundách			Chodci na přechodu A/N		
	Měření č. 1	Měření č. 2	Měření č. 3	Měření č. 1	Měření č. 2	Měření č. 3
1	1,760	1,520	1,500	N	N	N
2	1,500	1,845	1,700	N	N	N
3	1,160	1,120	7,720	N	N	A
4	6,925	8,252	1,762	A	A	N
5	1,940	1,440	1,360	N	N	N
6	1,400	2,120	2,240	N	N	N
7	1,950	1,400	5,661	N	N	A
8	1,840	3,705	2,827	N	A	N
9	2,960	8,924	2,545	N	A	N
10	12,372	1,360	2,880	A	N	N
11	2,460	1,794	11,440	N	N	A
12	2,635	3,480	2,126	N	N	N
13	0,545	1,600	1,234	N	N	N
14	0,920	1,920	0,800	N	N	N
15	1,760	1,826	1,200	N	N	N
16	7,305	2,157	1,560	A	N	N
17	1,440	1,960	1,339	N	N	N
18	4,482	3,761	2,885	A	N	N
19	1,600	6,280	1,703	N	A	N
20	2,120	1,200	7,040	N	N	A
21	0,800	1,079	1,040	N	N	N
22	1,200	0,800	0,920	N	N	N

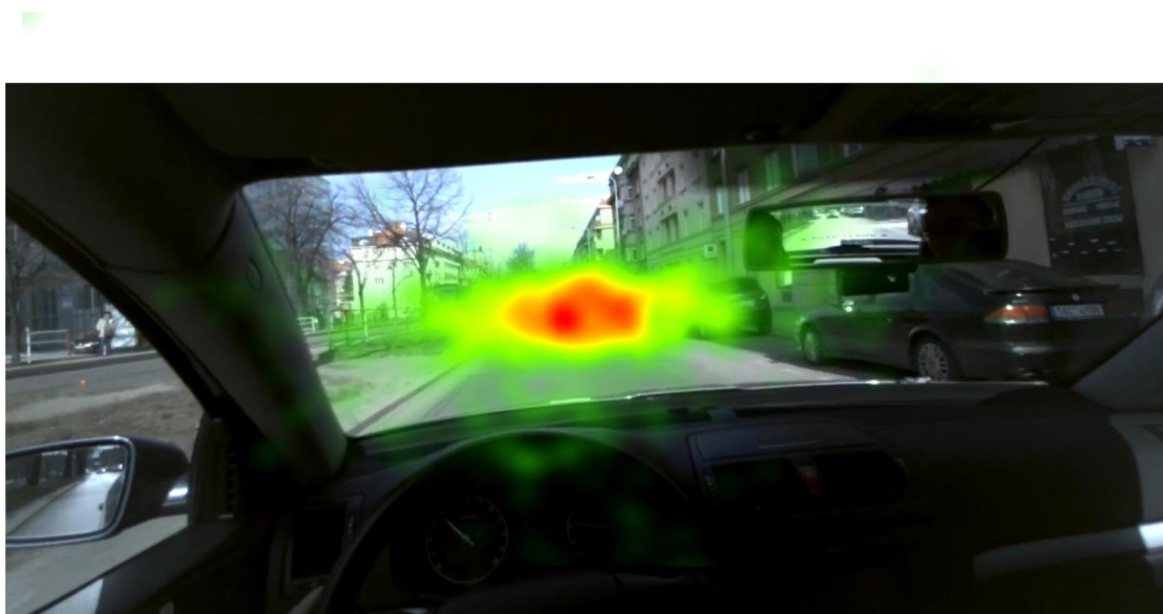
Zdroj: vlastní

Tabulka 7 - celkový čas očních fixací na přechodech a procentuální vyjádření ku celé trase respondenta R2

<i>Respondent R2</i>	<i>Celkový naměřený čas trvání očních fixací v sekundách</i>	<i>% vyjádření trvání očních fixací k trvání celé trasy</i>
<i>1. měření</i>	61,074	9,725
<i>2. měření</i>	59,543	9,063
<i>3. měření</i>	63,482	9,056

Zdroj: vlastní

Obrázek 29 - heatmapa respondenta R2



Zdroj: vlastní

Heatmapa na obrázku 29 ukazuje, kam se respondent R2 díval v průběhu všech 3 měření. Oproti respondentovi R1 není již tento pohled vpřed tak ucelený. Největší část pohledu se stále nachází směrem vpřed, dále pak pohled do středového zpětného zrcátka, následně pohled na tachometr a až jako poslední je brán pohled do bočních zpětných zrcátek.

Tabulka 8 - naměřená data respondenta R3

RESPONDENT R3	Délka trvání oční fixace v sekundách			Chodci na přechodu A/N		
	Měření č. 1	Měření č. 2	Měření č. 3	Měření č. 1	Měření č. 2	Měření č. 3
1	1,230	1,880	1,000	N	N	N
2	1,460	5,150	8,500	N	A	A
3	1,320	1,531	1,170	N	N	N
4	1,160	1,550	5,560	N	N	A
5	1,160	2,300	1,720	N	N	N
6	3,968	1,470	2,499	A	N	N
7	1,880	1,315	1,748	N	N	N
8	1,720	7,247	3,321	N	N	N
9	1,160	2,390	2,086	N	N	N
10	0,770	6,900	10,294	N	N	N
11	9,720	3,295	1,306	A	N	N
12	2,520	14,876	20,080	N	A	A
13	1,517	1,491	1,211	N	N	N
14	0,920	1,520	1,845	N	N	N
15	1,245	4,265	3,420	N	A	A
16	0,760	6,450	2,207	N	A	N
17	1,662	1,180	1,334	N	N	N
18	1,080	1,332	1,851	N	N	N
19	5,795	1,720	8,890	A	N	A
20	0,971	1,280	1,831	N	A	N
21	0,788	3,030	8,290	N	A	A
22	1,498	0,906	1,748	N	N	N

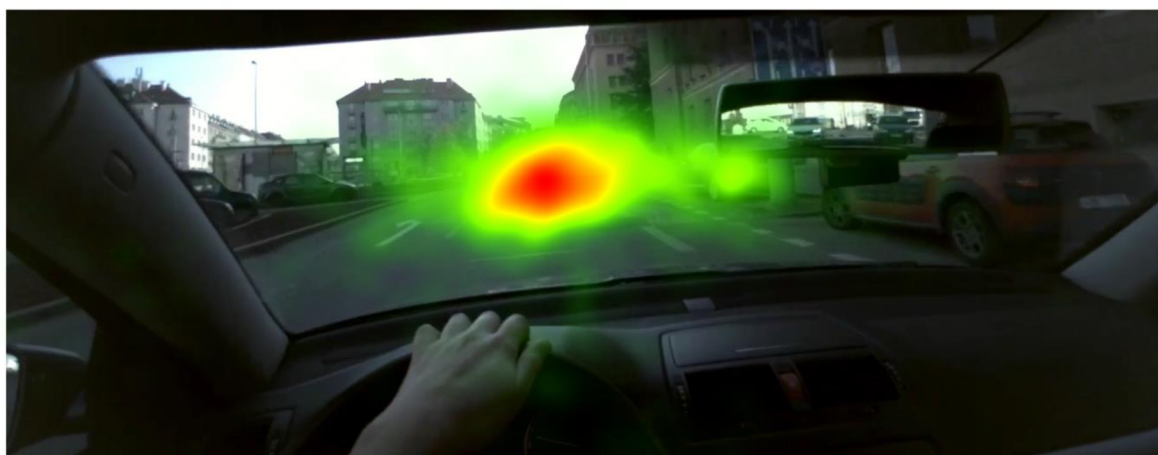
Zdroj: vlastní

Tabulka 9 - celkový čas očních fixací na přechodech a procentuální vyjádření ku celé trase respondenta R3

<i>Respondent R3</i>	<i>Celkový naměřený čas trvání očních fixací v sekundách</i>	<i>% vyjádření trvání očních fixací k trvání celé trasy</i>
<i>1. měření</i>	44,304	9,652
<i>2. měření</i>	73,078	10,094
<i>3. měření</i>	91,911	15,370

Zdroj: vlastní

Obrázek 30 - heatmapa respondenta R3



Zdroj: vlastní

Heatmapa na obrázku 30 znázorňuje intenzitu pohledu v daných oblastech u respondenta R3 v průběhu všech 3 měření. Nejvíce se respondent R3 díval skrze čelní okno dopředu, následně do středového zpětného zrcátka a čas od času se také respondent R3 podíval do zpětných zrcátek a na tachometr.

Průměrné procentuální vyjádření trvání očních fixací k trvání celé trasy je 9,83 %.

## 6 Výsledky a diskuze

LED osvětlení přechodů nemělo v rámci měření vliv na délku očních fixací respondentů R2 a R3. Délky očních fixací respondenta R1 na přechodech s LED osvětlením byly lehce zvýšené oproti respondentům R2 a R3, což může být způsobeno i tím, že respondent R1 není zvyklý řídit vozidlo v městském provozu a rovněž danou trasu nezná.

Výsledky daných měření jsou ovlivněny mnohými faktory. Počasí u všech měření bylo relativně stálé. Hlavní faktory, které ovlivňují jak délku očních fixací, tak i délku měření, jsou hustota vozidel jedoucích měřenou trasou a množství chodců na okolních chodnicích snažící se přejít pozemní komunikaci. Tyto faktory jsou značně nepředvídatelné a lze očekávat, že při jakémkoliv dalším měření by získaná data byla unikátní.

Většinu naměřených dat lze brát jako standartní dobu trvání očních fixací na přechodech pro chodce. Nejvíce však vystupuje hodnota délky oční fixace respondenta R1 z prvního měření na kontrolním bodu 8, která byla 33,336 s. Jednalo se o situaci, kdy respondent R1 stál v dopravní kongesci před tímto přechodem a sledoval chodce v okolí přechodu a i na přechodu. Po přejetí přechodu byla délka tohoto kontrolního bodu zaznamenána.

Měření proběhla začátkem března 2022 a očekával bych, že kdyby další měření proběhlo v letních měsících, bude okolím procházet více chodců. Díky tomu se zvýší počet přecházejících chodců, což navýší počet přechodů s hodnotou A ve sloupci měření „Chodci na přechodu A/N“, zvýší se celková délka jízdy a délka očních fixací na jednotlivých přechodech.

Menší množství chodců mohlo být také způsobeno pandemií covid-19, při níž velké množství pracujících občanů přešlo z docházení do kanceláře na home-office. Rovněž také měření neprobíhalo v typické pražské hodiny, kdy občané dochází do práce a odchází z práce.

V rámci příprav měření musel být jeden respondent vyřazen ještě před samotným měřením. Tento respondent nosil brýle a bylo zjištěno, že jejich použitím se detekce očních pohybů trackovacími brýlemi pohybuje velmi blízko 0. To tedy vysvětluje možnost přikoupit si výměnné čočky na jednotlivá skla brýlí přímo od firmy Tobii.

Pakliže by měl být výzkum opakován, zvolil bych stejné prostředí, ale větší množství respondentů s jednotlivými měřeními v průběhu dne (dopoledne/odpoledne/večer). Se získanými znalostmi bych prováděl kalibraci brýlí pro jednotlivá měření ještě důkladněji, aby se hodnota „gaze plot“ co nejvíce blížila ke 100 %. Větší množství respondentů by bylo různých věkových kategorií, různého pohlaví s různými zkušenostmi jako řidič. Velmi pravděpodobně by byla zaznamenána měření s rozdílným počasím a okolními stavy. Mohlo by také být posouzeno mnohem více dat, která by mohla přispět k vylepšení dopravní situace daného úseku.

## 7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo čtenáře seznámit s eye-trackingem, včetně dílčích částí popisující aktivní a pasivní bezpečnost, a následným použitím trackovacích brýlí v reálných podmínkách dopravy.

S trackovacími brýlemi Tobii Pro Glasses 3 bylo provedeno 9 měření na 3 různých respondentech s cílem zjistit, jak dlouho budou daní respondenti setrvávat svým pohledem na přechodu pro chodce, a to v případech, kdy chodec přechází či nepřechází. Rovněž se sledovalo, zda LED osvětlení několika přechodů bude mít vliv na délku trvání oční fixace.

Celková doba očních fixací na přechodech se pohybovala v rozmezí kolem 6 – 15 % z celkového času jednotlivých měření. Nejvyšší součet jednotlivých hodnot celkové doby očních fixací měl respondent R3, a to 44,304 s; 73,078 s; 91,911 s, což odpovídá 9,652 %; 10,094 %; 15,370 % z celkové doby očních fixací. Následován respondentem R2, jehož hodnoty jsou 61,074 s; 59,543 s; 63,482 s, což odpovídá 9,725 %; 9,063 % a 9,056%. Hodnoty respondenta R1 byly 104,126 s; 44,164 s; 52,896 s, což odpovídá 11,941 %; 6,134 %; 7,429 %.

Analýzou výsledků bylo dospěno k závěru, že LED osvětlení přechodu nijak nemění délku trvání oční fixace u respondentů R2 a R3. Respondent R1 měl hodnoty očních fixací na přechodech s LED osvětlením lehce zvýšené oproti respondentům R2 a R3. Toto zjištění je přisuzováno faktu, že respondent R1 měřenou trasu neznal a není zvyklý jezdit ve městě.

I přes to, že se celkové hodnoty očních fixací za jednotlivá měření mohou značně lišit, nelze jejich hodnotu brát jako absolutní. Reálné měření na pozemní komunikaci provází mnoho faktorů, které mohou být v jakémkoliv dalším měření značně odlišné. Nikdy předem nevíme, jaké bude počasí, kde a jak dlouho budou chodci přecházet pozemní komunikaci, jaká bude dopravní situace v měřeném úseku. Naměřená data tak lze brát jako hodnoty poukazující na to, že každé měření je unikátní a není možné jej znovu opakovat se stejnými výstupními daty. Z tohoto důvodu také nelze poměřit jednotlivé hodnoty respondentů, protože všichni mají zhruba stejně dlouho řidičské oprávnění a všichni jsou aktivní řidiči.

Při přípravě měření bylo také zjištěno, že respondent s brýlemi není schopen používat trackovací brýle bez speciálních nasazovacích čoček, které dodává firma Tobii. Detekce očních pohybů se pak blíží 0 a nelze tak data daného respondenta využít.

Pro potenciální aplikaci získaných dat do vývoje nových bezpečnostních systémů by bylo potřeba získat mnohem více dat na různých úsecích s různými okolními podmínkami. Bylo by také vhodné využít rozsáhlejší skupinu respondentů s co nejširším věkovým rozpětím a zároveň s co nejširším rozpětím řídičských zkušeností. V tomto konkrétním případě by mohla data být použita pro vývoj systému nouzového brždění při přehlédnutí chodce vcházejícího na přechod. Systémy nouzového brždění s funkcí detekce chodců již existují a využívají pro svou funkci kamer a radarů. Myslím si však, že v blízké budoucnosti již budou existovat systémy, které budou ve většině případů schopny reagovat na vzniklou situaci a bude tak díky nim možné předejít velkému množství nehod jež se stávají na přechodech a to ať již z nedostatečného věnování se řízení nebo minimálního sledování dopravy chodcem.



## 8 Seznam použitých zdrojů

1. Lidské oko [online], publikováno [24. 11. 2017], [citováno 16. 02. 2022], Dostupné z: <https://www.zeiss.cz/vision-care/lepsi-videni/pochopeni-zraku/lidske-oko.html#3>
2. *Perimetrie (2. LF UK)* [online], publikováno [19. 10. 2021], [citováno 16. 02. 2022], Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Perimetrie\\_\(2.\\_LF\\_UK\)](https://www.wikiskripta.eu/w/Perimetrie_(2._LF_UK))
3. Synek, S., Skorkovská, Š. – Fyziologie oka a vidění. GRADA, 2014. ISBN 978-80-247-8944-6
4. Dylevský, I., Ježek, P. – Základy funkční anatomie člověka [online], [citováno 16. 02. 2022], Dostupné z: <https://vos.palestra.cz/skripta/anatomie/15a2a5.htm>
5. Popelka, S. – EYE-TRACKING (NEJEN) V KOGNITIVNÍ KARTOGRAFII. Univerzita Palackého v Olomouci, 2018. ISBN 978-80-244-5313-2
6. Pohyby očí [online], publikováno [07. 03. 2012], [citováno 16. 02. 2022], Dostupné z: <https://www.ptejteseknihovny.cz/dotazy/pohyby-oci>
7. Křístek, J. – Detekce a analýza pohybu očí [online], Brno, 2013 [citováno 16. 02. 2022]. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. prof. Ing. Ivo Provazník, Ph. D. Dostupné z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=68256](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=68256)
8. Oční pohyb [online], publikováno [08. 08. 2021], [citováno 16. 02. 2022], Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/O%C4%8Dn%C3%AD\\_pohyb](https://cs.wikipedia.org/wiki/O%C4%8Dn%C3%AD_pohyb)
9. Sledování pohybu očí [online], publikováno [08. 08. 2021], [citováno 16. 02. 2022], Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Sledov%C3%A1n%C3%AD\\_pohybu\\_o%C4%8D%C3%AD](https://cs.wikipedia.org/wiki/Sledov%C3%A1n%C3%AD_pohybu_o%C4%8D%C3%AD)
10. Csekés, A. – Detekce směru pohledu [online], Brno, 2008 [citováno 16. 02. 2022]. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. prof. Ing. Ivo Provazník, Ph. D. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=9477](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=9477)
11. Sharif, B., Maletic, J. I. – An Eye Tracking Study on camelCase and under\_score Identifier Styles. Kent State University, Department of Computer Science. 2009

12. Delabarre, E. B. – A method of recording eye-movements. *The American Journal of Psychology*, 9(4), 572–574. 1898
13. Buswell, G. T. – *How people look at pictures; a study of the psychology of perception in art*, The University of Chicago Press, Chicago, Ill., 1935
14. Pavelka, T. – MOŽNOSTI EYE-TRACKINGU V KARTOGRAFII [online], Brno, 2015 [citováno 16. 02. 2022]. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Mgr. Bc. Zdeněk Stachoň, Ph. D. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/ele41/Bakalarka.pdf>
15. Conklin, K., Pellicer-Sánchez, A., Carrol, G. – *Eye-tracking A Guide for Applied Linguistics Research*. Cambridge University Press, 2018. ISBN 978-1-108-40120-3
16. Duchowski, Andrew. 2007. *Eye Tracking Methodology*. London: Springer, 2007. ISBN 978-1-84628-608-7
17. Dodge, R., & Cline, T. S. – The angle velocity of eye movements. *Psychological Review*, 8(2), 145–157. 1901
18. Frieberg, J. – Eye tracking v marketingu [online], Hradec Králové, 2018 [citováno 16. 02. 2022]. Diplomová práce. Univerzita Hradec Králové, Fakulta informatiky a managementu. prof. PhDr. Marek Franěk, CSc., Ph. D. Dostupné z: <https://theses.cz/id/yn1ts9/>
19. Reichl, J. – Teorie trojbarevného vidění [online], publikováno [28. 06. 2011], [citováno 16. 02. 2022], Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/545-teorie-trojbarevneho-videni#>
20. Farnsworth, B. – 10 Most Used Eye Tracking Metrics and Terms [online], publikováno [12. 05. 2020], [citováno 16. 02. 2022], Dostupné z: <https://imotions.com/blog/10-terms-metrics-eye-tracking/>
21. Sajdl, J. – HUD (Head-Up Display) [online], [citováno 16. 02. 2022], Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/hud-head-up-display/>
22. Sajdl, J. – Funkce Corner [online], [citováno 16. 02. 2022], Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/svetlomety-s-funkci-corner/>
23. Sajdl, J. – Prediktivní adaptivní tempomat [online], [citováno 16. 02. 2022], Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/prediktivni-adaptivni-tempomat/>

24. Sajdl, J. – DAC (Driver Alert Control) [online], [citováno 16. 02. 2022], Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/dac-driver-alert-control/>
25. Sajdl, J. – Lane Assist [online], [citováno 28. 02. 2022], Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/lane-assist/>
26. Lane Assist [online], [citováno 28. 02. 2022], Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/znacka-a-technologie/asistencni-systemy/lane-assist>
27. Systém monitorování okolí vozu „Area View“ [online], [citováno 28. 02. 2022], Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/znacka-a-technologie/asistencni-systemy/system-monitorovani-okoli-vozu-area-view>
28. Sajdl, J. – BMW Night Vision [online], [citováno 28. 02. 2022], Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/bmw-night-vision-nocni-videni/>
29. Systém Night Vision [online], [citováno 28. 02. 2022], Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/znacka-a-technologie/asistencni-systemy/system-night-vision>
30. Sajdl, J. – Brzdový asistent [online], [citováno 28. 02. 2022], Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/brzdovy-asistent/>
31. Sajdl, J. – Front Assist [online], [citováno 28. 02. 2022], Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/front-assist/>
32. ŠKODA Česká republika – Nová ŠKODA Superb – Blind Spot Detect [online], [citováno 28. 02. 2022], Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=XdGggAzylyY&ab\\_channel=%C5%A0KODA%C4%8Cesk%C3%A1republika](https://www.youtube.com/watch?v=XdGggAzylyY&ab_channel=%C5%A0KODA%C4%8Cesk%C3%A1republika)
33. Sajdl, J. – Pasivní bezpečnost [online], [citováno 16. 02. 2022], Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/pasivni-bezpecnost/>
34. Tobii Pro Glasses 3 [online], [citováno 12. 03. 2022], Dostupné z: <https://www.tobii.com/product-listing/tobii-pro-glasses-3/>
35. How is the sample percentage calculated in Studio, Lab and Controller? [online], [citováno 12. 03. 2022], Dostupné z: [https://connect.tobii.com/s/article/Sample-percentage-calculated-in-Studio-Lab-and-Controller?language=en\\_US](https://connect.tobii.com/s/article/Sample-percentage-calculated-in-Studio-Lab-and-Controller?language=en_US)

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Struktura lidského oka .....	5
Obrázek 2 - Hustota čípků a tyčinek na sítnici .....	7
Obrázek 3 - Typy mikropohybů při fixaci [5] .....	8
Obrázek 4 - Pohyb očí při čtení textu .....	9
Obrázek 5 - Barevné spektrum .....	11
Obrázek 6 - Purkyňovy obrázky .....	12
Obrázek 7 - Ukázka heat mapy .....	14
Obrázek 8 - Umístění elektrod u metody EOG [16] .....	15
Obrázek 9 - Kontaktní čočka s drátovou cívkou [5] .....	16
Obrázek 10 - Zařízení sledující pozici limbu [16] .....	17
Obrázek 11 - DPI tracker .....	18
Obrázek 12 - Motion Capture v praxi .....	20
Obrázek 13 - Gaze plot .....	20
Obrázek 14 - Head-Up Display .....	23
Obrázek 15 - Funkce Corner [22] .....	24
Obrázek 16 - Adaptivní tempomat [23] .....	25
Obrázek 17 - Systém DAC [24] .....	26
Obrázek 18 - Lane Assist [25] .....	27
Obrázek 19 - Area View [26] .....	28
Obrázek 20 - Night Vision [29] .....	29
Obrázek 21 - Front Assist [31] .....	30
Obrázek 22 - Blind Spot Detect .....	30
Obrázek 23 – Tobii Pro Glasses 3 .....	33
Obrázek 24 - měřená trasa .....	34
Obrázek 25 - kalibrační kartička .....	35
Obrázek 26 - výhled z vozidla .....	37
Obrázek 27 – kontrolní body na měřeném úseku, legenda .....	38
Obrázek 28 - heatmapa respondenta R1 .....	40
Obrázek 29 - heatmapa respondenta R2 .....	42
Obrázek 30 - heatmapa respondenta R3 .....	44

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - dotazník k měření .....	36
Tabulka 2 - délka jednotlivých měření .....	36
Tabulka 3 - procentuální zachycení pohybu očí .....	37
Tabulka 4 - naměřená data respondenta R1 .....	39
Tabulka 5 - celkový čas očních fixací na přechodech a procentuální vyjádření ku celé trase respondenta R1 .....	40
Tabulka 6 - naměřená data respondenta R2 .....	41
Tabulka 7 - celkový čas očních fixací na přechodech a procentuální vyjádření ku celé trase respondenta R2 .....	42
Tabulka 8 - naměřená data respondenta R3 .....	43
Tabulka 9 - celkový čas očních fixací na přechodech a procentuální vyjádření ku celé trase respondenta R3 .....	44