

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy



Diplomová práce

Aktivní a pasivní bezpečnost vozidel při styku se zvěří a její vnímání řidičem

Bc. Jiří Brožovský

© 2021 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jiří Brožovský

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

Název práce

Aktivní a pasivní bezpečnost vozidel při styku se zvěří a její vnímání řidičem

Název anglicky

Active and passive safety of vehicles in contact with wild animals and its perception by the driver

Cíle práce

Diplomová práce je tématicky zaměřena na systémy aktivní a pasivní bezpečnosti vozidel, využitelné při styku se zvěří. Cílem práce bude popsat dané systémy a zjistit pomocí systému pro sledování pohybu očních zornic a jiných systémů (např. integrované termovize ve vozidle) vnímání zvěře řidičem.

Metodika

Metodika řešení 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 a pohybující se zvěř podél silnic. 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

aktivní bezpečnost, pasivní bezpečnost, bezpečnostní prvky, vozidlo

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
- SEIFFERT U., WECH L.: Automotive safety handbook. London, UK: Professional Engineering Pub., c2003. ISBN 076800912X. KOVANDA, J.: Bezpečnostní aspekty návrhu dopravních prostředků. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, 2016. ISBN 978-80-01-05893-0.
- VLK, F. Automobilová elektronika. 2, Systémy řízení podvozku a komfortní systémy : [systémy ABS/ASR/ESP, elektronické brzdové systémy, zádržné systémy, osvětlení vozidla, komfortní systémy]. Brno: František Vlček, 2006. ISBN 80-239-7062-3.

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 18. 11. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Aktivní a pasivní bezpečnost vozidel při styku se zvěří a její vnímání řidičem" 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 31.3.2022

Bužovský

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Veronice Hartové, Ph.D. za odborné vedení a věnovaný čas v průběhu zpracování diplomové práce.

Děkuji také vedení Sedlické obory a Technické fakulty za zapůjčení technického vybavení, automobilu a poskytnutí zázemí pro experimentální měření.

Velké poděkování také patří mé přítelkyni a všem účastníkům měření.

Aktivní a pasivní bezpečnost vozidel při styku se zvěří a její vnímání řidičem

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na systémy především aktivní a pasivní bezpečnosti využívané při střetu se zvěří a skládá se z několika částí.

První část práce se zabývá bezpečnostními prvky aktivní a pasivní bezpečnosti, přičemž aktivní prvky jako hlavní části tématu diplomové práce jsou značně více rozepsány.

V další části jsou podrobně rozebrány snímače umožňující noční detekci objektů, a to hlavně noční vidění a termokamery, a to jak z hlediska jejich principu funkce, tak z hlediska jejich vývoje.

V další kapitole práce nastiňuje využití těchto snímačů nočního vidění v automobilovém dopravě.

Následuje využití a popsání eye-trackingových metod, jejich princip a rozdělení, historie a vývoj s charakteristikou lidského oka.

V praktické části je rozebrán pokus s eye-trackingovými brýlemi Tobii Pro 3 zaměřující se na vyhodnocení vnímání řidiče střeávajícího se se zvěří.

Závěr práce je pak věnován vyhodnocením celého experimentu a shrnutím práce.

Klíčová slova: aktivní bezpečnost, pasivní bezpečnost, bezpečnostní prvky, vozidlo

Active and passive safety of vehicles in contact with wild animals and its perception by the driver

Abstract

The diploma thesis is focused on systems of active and passive safety used in collisions with animals and consists of several parts.

The first part of the thesis deals with the safety elements of active and passive safety, while the active elements as the main parts of the thesis are much more detailed.

In the next part, sensors enabling night detection of objects, especially night vision and thermal cameras, are discussed in detail, both in terms of their principle of operation and in terms of their development.

The next chapter outlines the use of these night vision sensors in automobile traffic. The following is the use and description of eye-tracking methods, their principle and division, history and development with the characteristics of the human eye.

In the practical part, an experiment with eye-tracking goggles Tobii Pro 3 is discussed, focusing on the evaluation of the perception of a driver encountering game.

The conclusion of the work is then devoted to the evaluation of the whole experiment and a summary of the work.

Keywords: active safety, passive safety, safety elements, vehicle

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíl práce	3
3. Metodika práce.....	4
4. Přehled řešené problematiky.....	5
4.1 Aktivní a pasivní bezpečnost.....	5
4.2 Noktovizory.....	5
4.2.1 Historie noktovize	6
4.2.2 Princip optoelektronického vylepšení obrazu	7
4.2.3 Generace optoelektronických zařízení	8
4.2.4 Princip digitálního vylepšení obrazu	9
4.3 Termovize.....	10
4.3.1 Historie termovize	10
4.3.2 Emisivita.....	11
4.3.3 Fungování termovize.....	12
4.4 Využití technologií nočního vidění v dopravě	13
4.4.1 Aktivní systémy.....	13
4.4.2 Pasivní systémy	14
4.4.3 Konkrétní využití.....	15
4.5 Pozornost řidiče.....	16
4.6 Eye-tracking	16
4.6.1 Charakteristika lidského oka	16
4.6.2 Pohyby očí.....	19
4.6.3 Vývoj metod sledování pohybu očí.....	20
4.6.4 Rozdělení technik sledování oka	23
4.6.4.1 Elektro-OculoGraphy (EOG).....	23
4.6.4.2 Scleral contact lens (kontaktní čočky)	24
4.6.4.3 Photo-OculoGraphy (POG) a Video-OculoGraphy (VOG).....	25
4.6.4.4 Pupil and Corneal Reflexion Tracking.....	27
5. Praktická část	28
5.1 Vybavení pro měření	28
5.1.1 Eye-trackingové brýle od výrobce Tobii Pro 3	28
5.1.2 Nahrávací jednotka.....	29
5.1.3 Kalibrační karta	30
5.1.4 Notebook	30
5.1.5 Automobil Mitsubishi.....	31
5.2 Místo měření a respondenti	31

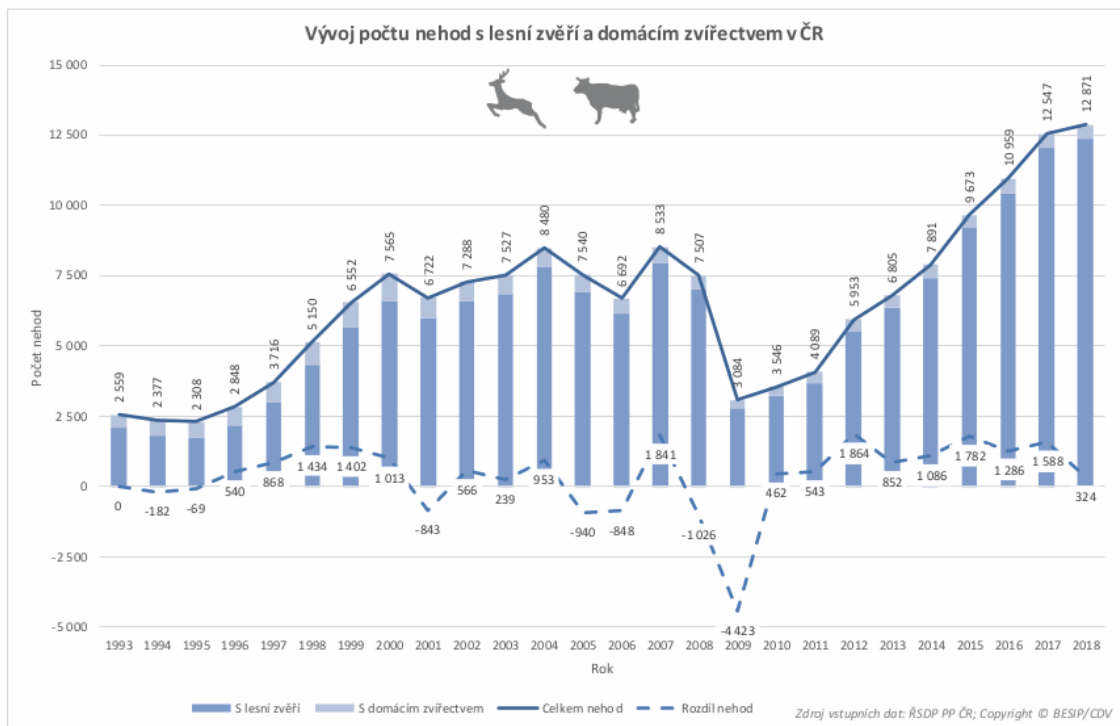
5.3	Metodika měření	32
5.4	Zpracování výsledků	33
6.	Výsledky a diskuse	34
6.1	Řidič číslo jedna	34
6.2	Řidič číslo dvě	37
6.3	Řidič číslo tři	41
6.4	Porovnání řidičů	43
6.4.1	Řidič číslo jedna	43
6.4.2	Řidič číslo dvě	44
6.4.3	Řidič číslo tři	45
6.4.4	Porovnání řidiče jedna a dvě za snížené viditelnosti	46
7.	Závěr.....	48
8.	Seznam použitých zdrojů	49
9.	Seznam obrázků	51

1. Úvod

Automobil je v současné době nejpoužívanější dopravním prostředkem. To je jeden z hlavních důvodů, proč je kladen velký důraz na bezpečnost při cestování v něm. Je již samozřejmostí, že každá automobilka implementuje systémy aktivní a pasivní bezpečnosti do svých vozů, a že jejich vývoj se pořád zdokonaluje.

Pokrok lidstva vedoucí ke zlepšující se dopravní dostupnosti sebou nese mnohdy nevědomé přetnutí přirozených migračních tras zvěře a její možný střet s řidičem. Je kladen čím dál větší důraz na ekologii životního prostředí a ochranu živočichů žijících ve volné přírodě a bezpečnost řidiče. Přirozené koridory zvěře jsou nahrazovány uměle vystavěnými, silnice jsou oplocovány či lemovány pachovými repelenty, vegetace je odstraňována z nejbližšího okolí dopravních komunikací a řidiči jsou upozorňováni na nebezpečí varovným značením.

I přesto všechno, stále dochází ke kolizím se zvěří čím dál častěji. Jak je vidět na obrázku číslo 1., počet nehod s lesní zvěří od roku 1993 do roku 2018 několika násobně vzrostl a od roku 2010 těchto nehod pouze statisticky přibývá. V roce 2018 bylo evidováno rekordních 12 871 případů nehod s lesní zvěří a domácím zvířectvem. Tyto nehody se nejčastěji stávají na silnicích II. třídy, a to na přímých úsecích komunikace, dále pak v zatáčkách a na přímých úsecích po projetí zatáčkou. V roce 2018 v důsledku těchto nehod přišli 3 lidé o život, dalších 19 jich bylo těžce zraněno a 150 dalších vyvázlo s lehkými zraněními. [7]



Obrázek 1 Graf vývoje počtu nehod

[7]

2. Cíl práce

Cílem této diplomové práce je teoreticky rozebrat vybrané systémy bezpečnosti vozidel, které jsou využívány k ochraně řidiče při střetu se zvěří. Dále teoreticky zpracovat vnímání řidiče s využitím metody Eye-tracking. Z těchto teoretických východisek pak zpracovat praktickou část. Měřit pomocí Eye-trackingových brýlí střet řidiče se zvěří a následně zpracovat a vyhodnotit data.

3. Metodika práce

Měření bude probíhat v Sedlické oboře za účasti tří respondentů. Respondenti budou během měření monitorováni pomocí Tobii Pro 3 eye-trackingových brýlí a v jednom předem stanoveném automobilu. Bude vybrán zkušební okruh s ohledem na maximální dosažení střetů různých druhů zvěře s respondenty. Brát se bude v potaz i denní doba s úrovní viditelnosti při probíhání experimentu. Samotné měření pak bude probíhat za účasti minimálně dvou respondentů, kdy jeden respondent bude v pozici řidiče a bude projíždět vybraný okruh a druhý bude zajišťovat technické požadavky systému a vybavení Tobii Pro 3 brýlí a zaznamenávat střety se zvěří.

4. Přehled řešené problematiky

V této části jsou teoreticky rozebrány vybrané systémy a teoretická východiska potřebná pro zpracování praktické části.

4.1 Aktivní a pasivní bezpečnost

Aktivní bezpečnost je taková bezpečnost, která využívá prvky a systémy ochrany před nehodou a pomáhá řidiči předejít nehodě. Jejím hlavním úkolem je předcházení nebezpečí pomocí jeho včasného detekování, vyhnutí se nebezpečí, popřípadě jeho zmírnění. Kromě elektronických systémů se bere v potaz i bezvadná funkce komponentů využívaných řidičem a tvorba ideálního prostředí. Toto prostředí by mělo napomáhat k soustředění řidiče na řízení vozu. Příkladem prvků aktivní bezpečnosti může být brzdový systém, ABS, ASR, ESP, pohodlí řidiče, osvětlení a dobrý výhled z vozidla. [1]

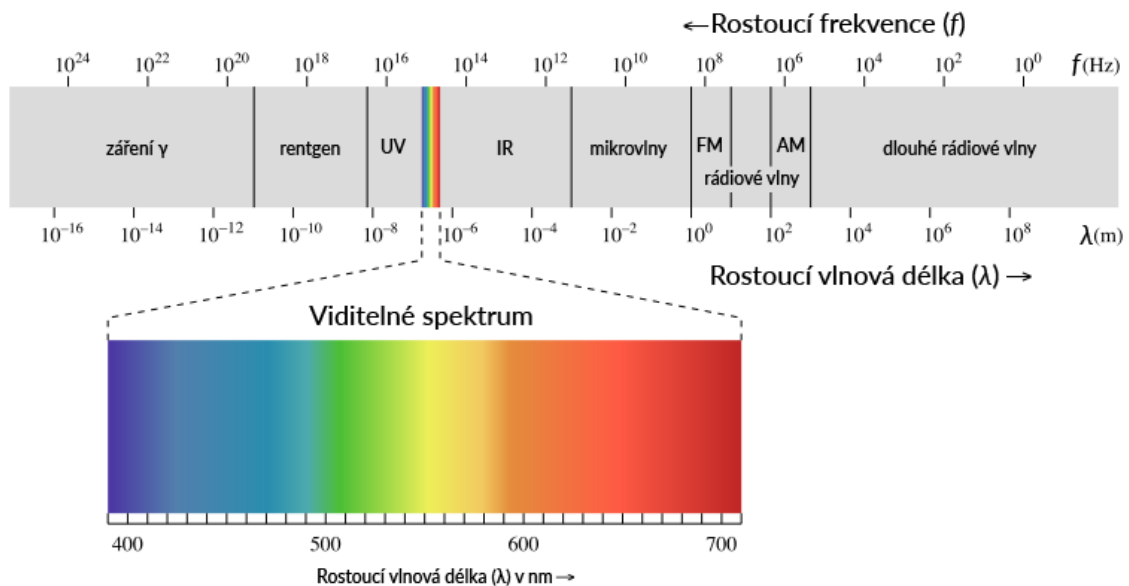
Pasivní bezpečností se na druhou stranu rozumí bezpečnost, která využívá prvky a systémy, které zmírňují následky dopravní nehody. Tyto prvky jsou nečinné neboli pasivní, až do okamžiku dopravní nehody. Tyto prvky zmírňují nebezpečí a závažnost zranění posádky a ostatních účastníků dopravního provozu. Příkladem prvků pasivní bezpečnosti jsou zádržné systémy, deformační zóny a tuhá konstrukce. [1]

4.2 Noktovizory

Viditelné světlo je část elektromagnetického záření, jehož frekvence je zhruba od $3,9 \cdot 10^{14}$ do $7,9 \cdot 10^{14}$ Hz. Světlo s nižší frekvencí se nazývá ultrafialové a s vyšší frekvencí infračervené, to je dobře znázorněno na obrázku číslo 2. Na rozdíl od některých druhů živočichů, lidské oko je přírodou navrženo tak, že nezvládne rozeznat jinou než viditelnou část spektra. Důležité však je, že infračervené a ultrafialové záření má stejné vlastnosti jako viditelné světlo. [5]

Dalším aspektem je světlo zbytkové. V podstatě je nemožné ve volném prostoru úplně odstranit světlo, hlavně díky tomu, že je schopné se odrážet. Takže i když se na první pohled zdá lidskému oku, že je úplná tma, není tomu vždycky tak. [5]

Díky těmto skutečnostem se lidem podařilo vynaleznout zařízení, které zesiluje zbytkové světlo a převádí neviditelnou část světelného záření na tu viditelnou. To jsou základní principy fungování noktovizorů, zařízení, která umožňují člověku vidět ve tmě.



Obrázek 2 Viditelné spektrum

[5]

4.2.1 Historie noktovize

Základy přístrojů umožňujících pozorování ve tmě byly položeny v druhé světové válce, kdy nepřátelské strany mezi sebou soupeřily v jejich zdokonalování a vývoji. Vidět nepřítele ve tmě totiž přinášelo velkou strategickou výhodu v boji. Zpočátku byl vývoj omezen pouze na přiblížení k infračervenému pásmu a pomocí infračervených světlometů byl zintenzivněn obraz. To se však ukázalo jako nepoužitelné v momentě, kdy technologii znala i druhá strana. Dalším velkým pokrokem bylo zintenzivnění zbytkového světla Vladimírem Zworikynem, který díky fotoelektrickému převodníku světla v 50. letech zkonstruoval přístroj, kterému stačil svit měsíce a hvězd k vytvoření monochromatického obrazu. [2]

První generace nočních vidění splňující válečné požadavky byla použita ve Vietnamu v roce 1964. Američtí vojáci byli napadáni hlavně v noci, to vedlo k rychlému pokroku ve vývoji nočních vidění. Následně byla na trh přivedena druhá a třetí generace zesilovačů obrazů. Ty se vyznačovaly vyšší citlivostí a životností. [2]

4.2.2 Princip optoelektronického vylepšení obrazu

Technologie optoelektronického vylepšení obrazu je postavena na řadě optických čoček a speciální elektronické vakuově utěsněné trubici. Tato sestava umožňuje zachytávání a zesílení viditelného a infračerveného světla odraženého od blízkých objektů. [3]

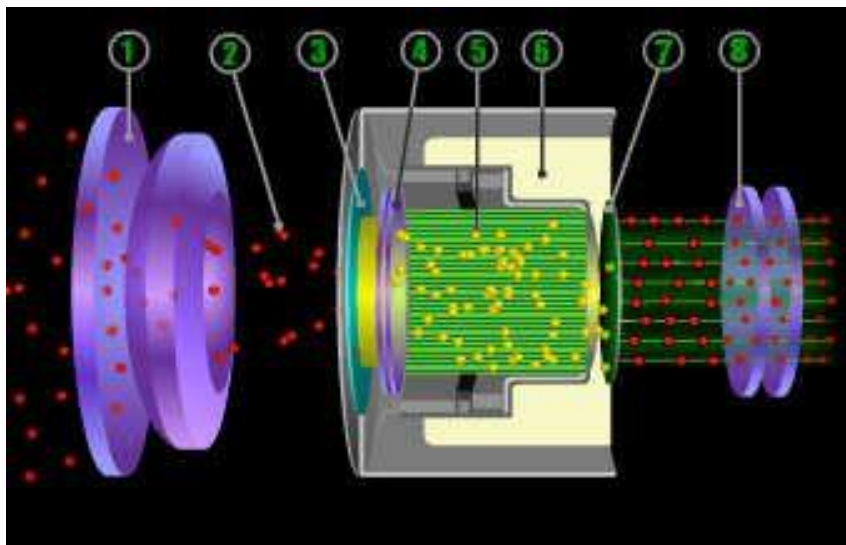
Čočka objektivu, která se nachází v soustavě na prvním místě, zachycuje slabé viditelné světlo a světlo ze spodní části infračerveného spektra, které se odráží od objektu. [3]

Veškeré světlo je tvořeno malými částicemi, zvanými fotony. Tyto částice procházejí čočkou objektivu do trubice zesilovače obrazu. Tato trubice je napájena bateriemi a skládá se ze dvou dílčích komponentů. První částí a komponentem je takzvaná fotokatoda, ta slouží k převedení přicházejících fotonů na elektrony. Nově vzniklé elektrony pokračují do druhé části vakuové trubice zvané mikrokanálová deska. Jedná se o malý skleněný disk s miliony malých otvorů. Díky těmto otvorům je počet elektronů při průchodu deskou několikrát znásoben a tím je posílen elektrický signál. [3]

Poté, co elektrony opustí trubici zesilovače obrazu, narazí na obrazovku potaženou fosforem. Při nárazu elektronu se fosfor rozsvítí a vytvoří zářící zelený obraz, který je podstatně jasnější než slabé světlo, které původně vniklo do čočky objektivu. [3]

Obraz získaný na tomto principu není barevný. Je to dáno přeměnou fotonů na elektrony, které již nenesou barevnou informaci a přemění původní barevné světlo na černobílý obraz. Zelené fosfory byly vybrány z praktických důvodů. Zelená je totiž nejsnáze viditelná při delším sledování ve tmě. [3]

Pro snazší představu je princip i s komponenty vyobrazen na obrázku číslo 3. Číslem 1 je označena přední čočka s procházejícími fotony, které jsou vyobrazeny červeně a označeny číslem 2. Číslo 3 označuje trubici fotonásobiče s jejími částmi. Číslo 4 ukazuje na destičku s mikrokanálky umocňující počet elektronů označených číslem 5. Zdroj vysokého napětí je označen číslem 6 a číslo 7 ukazuje kde se nachází fosforová obrazovka. Poslední částí celého komponentu je okulár s číslem 8. [8]



Obrázek 3 Princip optoelektronického vylepšení obrazu

[8]

4.2.3 Generace optoelektronických zařízení

Každá podstatná změna ve vývoji zařízení pro noční vidění zavedla novou generaci. Dále budou představeny jednotlivé generace a jejich specifikace. Na obrázku číslo 4 je možnost si názorně prohlédnout, jaký rozdíl vyobrazení přinesly jednotlivé inovace. [4]

Generace 0: Tato generace byla využívána hlavně armádou Spojených států amerických, hlavně ve válce v Koreji. Tato generace měla aktivní reflektor, který vysílal paprsek infračerveného světla. Tím bylo dosaženo osvětlení objektů, pro oko neviditelným paprskem, který se od objektů odrazil do čočky nočního vidění. Noční vidění využívalo anodu a katodu pro urychlení elektronů. Hlavní nevýhodou byla deformace obrazu, nízká životnost trubice násobiče a hlavně viditelnost infračerveného promítaného paprsku z reflektoru v době kdy nepřátelské jednoty použily vlastní systém nočního vidění. [4]

Generace 1: U této generace byla odstraněna hlavní nevýhoda předešlé generace, tou byla aktivní infračervené promítání paprsku. Tato generace zvládla využít zbytkové světlo. Světlo z hvězd a měsíce a přešla tak do pasivního infračerveného světla. Její hlavní nevýhodou byla špatná funkce při nedostatku zbytkového nebo odraženého světla, čili při zatažené obloze, nebo bez měsíčního svitu nefungovala. [4]

Generace 2: Tato generace přinesla technologii násobiče elektronů, fungující na efektu sekundární elektronové emise. Měla tak mnohem lepší rozlišení a výkon oproti předešlé generaci. Díky novému uspořádání, které umocňovalo počet elektronů a jejich energie bylo

možné pozorování i za špatných světelných podmínek. Nejenže poskytovala lepší obraz, ale také již nebylo zapotřebí měsíčního svitu. [4]

Generace 3: U této generace byla použita fotokatoda vyrobená z arsenidu a galia, to značně zlepšilo konverzi fotonů a zlepšilo tak rozlišení a citlivost. [4]

Generace 4: V této generaci se dosáhlo odstranění šumu z pozadí pomocí bariéry mikrokanálové desky, která potlačuje ionty. To vedlo k zvýšení poměru signálu k šumu. Výsledkem byla redukce zkreslení a obraz byl mnohem jasnější. Uzavřený systémem napájení, který zvládl rychlé sepnutí a opětovné vypnutí fotokatody umožnil vyrovnat kolísání světelných podmínek. Znamená to možnost využití v nízké i vysoké hladině osvětlení během krátké doby, protože přebytečné světlo již neoslňuje pozorovatele. [4]



Obrázek 4 Porovnání generací nočních vidění

[9]

4.2.4 Princip digitálního vylepšení obrazu

Velká část zařízení pro noční vidění v dnešní době využívá digitální verzi optoelektronického vylepšení obrazu. Je tomu tak hlavně z praktických důvodů, digitální úprava obrazu umožňuje zmenšování zařízení, jejich širší využití a také snížení jejich váhy. [3]

Na rozdíl od předešlé technologie, je zde světlo, které se odrazí do čočky objektivu, převedeno na digitální signál a pomocí komplementárního senzoru. Tento senzor je typu CMOS, tedy stejný jako je využíván v digitálních videokamerách. Takto zpracovaný digitální obraz je elektronicky vylepšen, mnohonásobně zvětšen a poté odeslán na LCD displej k prohlížení. Čím větší je snímač CMOS, tím vyššího je dosaženo rozlišení obrazu. [3]

Díky tomu, že je obraz převeden do digitálního signálu, je možné kromě přímého sledování přes LCD obrazovku u mnoha zařízení připojit i další, přídatná zařízení. Jako jsou například videokamery a statické kamery pro vzdálené sledování. Signály digitálního nočního vidění lze také ukládat na přenosná zařízení, jako jsou SD karty nebo USB disky, či jiná paměťová zařízení. [3]

Digitální technologie má za následek revoluci v odvětví nočního vidění, neboť každá další generace CMOS přinesla lepší snímky s nižšími náklady. Zatímco obrazy z raných digitálních zařízení pro noční vidění nebyly zdaleka tak podrobné jako tradiční optické obrazy, současná zařízení disponují extrémně vysokým rozlišením. Dokonce některé z nich zvládnou reprodukovat i barevné obrázky namísto zářících zelených obrázků. [3]

4.3 Termovize

Termovizní kamera, zkráceně termovize, je zařízení promítající rozdíly teplot sledovaných objektů. Podstatou principu jsou rozdílná elektromagnetická spektra vyzařovaná objekty a jejich rozdílné vlnové délky. Tyto elektromagnetická spektra jsou vyobrazena na obrázku číslo 5. Termovize se zaměřuje hlavně na část infračerveného záření, tedy zhruba od $3 \cdot 10^{11}$ Hz až $3,9 \cdot 10^{14}$ Hz. Objekty s různou teplotou vyzařují různé vlnové délky tohoto záření. V podstatě zařízení přiřazuje různé barvy či odstíny různým vlnovým délkám a z nich skládá výsledný obraz. [10]

4.3.1 Historie termovize

Objevení infračervené části elektromagnetického spektra se datuje k roku 1800, jejím objevitelem byl Sir William Herschel. Objevil jí při konstrukci dalekohledu, všiml si totiž, že některými barevnými skly prochází menší množství slunečního tepla a u některých je tomu právě naopak. Max Planck vypočetl souvislosti mezi intenzitou infračerveného záření, jež těleso vyzařovalo, a jeho teplotou. To odstartovalo vývoj zařízení, které by na těchto principech zvládlo změřit teplotu tělesa. [10]

Dalším pokrokem byl první zkonstruovaný termočlánek v roce 1829 panem Leopoldem Nobilim. Termočlánek je používán hlavně jako čidlo teploty a je zdrojem elektrického proudu. Využívá k tomu termoelektrický jev, při němž dochází k přeměně rozdílu teplot na elektrické napětí a naopak. [10]

Bolometr vynalezený v roce 1878 Samuelem Pierpontem Langleyem měří výkon dopadajícího elektromagnetického záření pomocí ohřevu materiálu. Odpor bolometru se mění díky pohlcování dopadajícího záření. Díky tomuto principu se vypočítá množství pohlcené energie. Samotné jádro termovizní kamery je tvořeno sérií zapojených bolometrů, které tvoří jeden článek, takzvaný mikrobolometr. Již v roce 1880 bylo možné díky bolometru odhalit teplo z živého skotu na neuvěřitelných 400 metrů. [10]

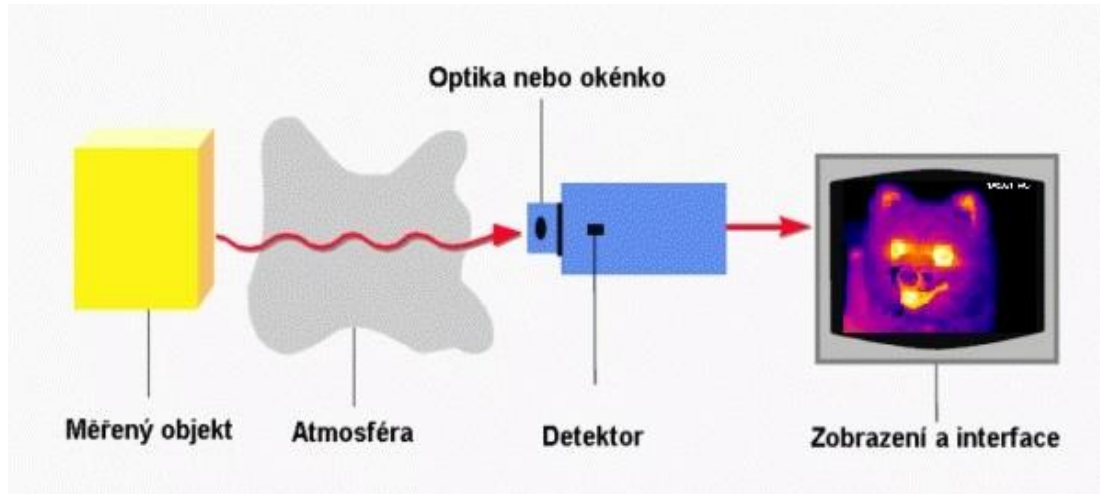
Za jednu z prvních termokamer považujeme vynález fyzika Kálmána Tihanyio v roce 1929, jednalo se o kameru citlivou na infračervené záření a byla využita v protiletectké obraně Velké Británie. Z počátku byly termovizní kamery chlazeny tekutým dusíkem, to bylo ale velmi drahé a komplikované. Pokrokem byl přenosný infračervený skenovací systém, který byl zkonstruován v roce 1973 a dva roky na to, tedy roku 1975, získává tento systém i video výstup. [11]

4.3.2 Emisivita

Emisivita je definovaná jako schopnost tělesa vyzařovat teplo. Každé těleso tuto schopnost má. Nejvyšší emisivitu má Absolutně černé těleso, což je ideální těleso, které pohlcuje veškeré záření o všech vlnových délkách a jeho emisivita je rovna 1. Toto těleso je pouze teoretické, nejbliže se dokážeme přiblížit jeho vlastnostem na 99%. Využíváme toho pro tělesa používaná ke kalibraci termovizí při jejich výrobě. Emisivit má také vliv na odražené teplo, čím je totiž větší, tím se snižuje jeho vliv. [10]

4.3.3 Fungování termovize

Termovize je velmi složitý elektrooptický přístroj, jehož fungování je zobrazeno na obrázku číslo 5.



Obrázek 5 Systém termovize

[10]

Samotný systém lze rozdělit do čtyř oddílů. Prvním z těchto oddílů je optický systém, který se moc neliší od běžných objektivů kamer. Jeho hlavním rozdílem je sklo, ze kterého je vyroben. Pro co nejlepší propustnost infračerveného záření a kvalitu obrazu je použito germaniové sklo a čočky jsou ošetřeny antireflexními vrstvami. Alternativou je použití rovných a zakřivených zrcadel jako optické soustavy odrážející infračervené záření. [10]

Dalším z oddílů je senzor infračerveného záření. V podstatě se jedná o mikrobolometr, který přetváří infračervené záření na elektrický signál.

Na tento senzor navazuje další z částí a tou je A/D převodník, který se stará o převedení elektrického analogového signálu na digitální. [10]

Posledním oddílem termokamery je uživatelský interface, zobrazující uživateli zpracovaná digitální data v podobě termogramu. Měl by být k uživateli co možná nejprůhlednější a jasně dát najevo, která ze zobrazovaných částí má nejvyšší teplotu a která nejnižší. Nejčastěji je tak dosaženo různými barevnými škálami. [10]

4.4 Využití technologií nočního vidění v dopravě

Necelá polovina dopravních nehod v Evropě se stane v noci, i přesto že hustota dopravy značně klesne. Člověk při jízdě v noci spoléhá hlavně na různé druhy světlometů, pokrok lidstva jde neustále kupředu, a proto někteří výrobci začleňují systémy nočního vidění i do svých automobilů. Tyto systémy jsou orientovány hlavně na včasné upozornění řidiče na zvěř, cyklisty nebo chodce. [6]

4.4.1 Aktivní systémy

Aktivní systém je postaven na principu noktovize a pomocí vestavěné infračervené kamery osvětluje temné prostory. Při použití infračervené kamery nemůže dojít k oslnění protijedoucího řidiče, což je hlavní výhoda oproti ostatní světlometům. Pulzně nebo konstantně vysílané infračervené světlo má také delší dosah oproti čelním světlometům. Takto osvětlený prostor před vozidlem zaznamená kamera a pomocí výkonného procesoru převede obraz na digitální přístrojový, popřípadě středový displej. [6]

Výsledný obraz je velmi kvalitní, dokonce jsou i zvýrazněny důležité objekty, jakými může být zvěř, lidé, značky či předměty na vozovce. Příklad funkce a zobrazení aktivních systémů je znázorněn na obrázku číslo 6. [6]

Hlavní nevýhodou této technologie je nutnost odrazu infračerveného paprsku zpět do kamery, což jde jen velmi obtížně při hustém dešti nebo v mlze. Při takto nepříznivých podmínkách dojde k omezení funkce nočního vidění. [6]



Obrázek 6 Zobrazení aktivním systémem

[6]

4.4.2 Pasivní systémy

Pasivní systémy využívají ke svému chodu termokameru. Tato termokamera zvýrazňuje teplé objekty, kterými mohou být cyklisté, chodci, zvěř, popřípadě domy nebo zahřáté silnice. Znovu je černo-bílí obraz zpracován z termokamery a odeslán na digitální obrazovku před řidičem, jak je vykresleno na obrázku číslo 7. Dosah termokamery je podstatně větší než u infračervené kamery, či u světlometů. Je možnost tak spatřit na přístrojovém štítě objekty vyzařující teplo mnohem dříve, než jsou fyzicky viditelné. Technologie tak dovoluje zahlédnout nejen člověka, ale i menší živočichy. [6]

Tato technologie má ale i svá úskalí a nevýhody, oproti aktivním systémům má horší kvalitu obrazu, stejně jako aktivní systémy má horší výsledky při silném dešti, mlze a také při velmi horkých nocích. Jednou z dalších nevýhod je cestování skrz hustý les v zimě, při těchto okolnostech je totiž pro systém vozovka teplotně nerozeznatelná od okolí a splyne v jednu barvu. To samé platí i pro ostatní, teplo nevydávající předměty. [6]



Obrázek 7 Zobrazení pasivním systémem

[6]

4.4.3 Konkrétní využití

Jako první tyto technologie využil koncern General Motors a to zhruba okolo roku 1988. Tyto systémy jsou stále poměrně cenově drahé, proto jde téměř u všech automobilů o příplatkové vybavení. [6]

Konkrétními modely nabízející tuto technologii je BMW série X5, dále 7 a všechny vyšší série. Od značky Mercedes se jedná o třídu S a vyšší třídy a u značky Audi je zlomová třída A6, od které je u každé další možno dokoupení těchto nočních systémů. Dalšími automobily s možností instalace těchto systémů jsou Peugeot 508, 3008 a 5008, Volkswagen Touareg, Honda Legend, Cadillac XT6 či CT6. Noktovizory vestavuje do svých automobilů také firma DS Automobiles, konkrétně do modelů DS7 Crossback, DS9 nebo DS4. [6]

4.5 Pozornost řidiče

Pozornost je základní duševní funkcí. Při jízdě se hlavně sleduje její kapacita, pružnost, kvalita, vytrvalost a soustředěnost správným směrem. Během jízdy musí řidič přijmout velké množství informací, které následně musí zpracovat a vyhodnotit, jak bude dále postupovat. Tento proces by se nechal přirovnat k procesům počítače. Na rozdíl od počítače, však lidská pozornost kolísá. Důvodem je její přirozená regenerace. Každý řidič by měl být schopný určit, kdy si tento pokles pozornosti může dovolit a na druhou stranu kdy nikoliv. [12]

Ideálním stavem pro řidiče je, když přichází jen tolik informací ke zpracování, kolik je schopen přijmout a vyhodnotit. Dále by řidič neměl úmyslně přenášet pozornost na jiné, nepodstatné podněty. Optimální také je, když řidič nemusí po podstatných informacích dlouze pátrat a prioritu mají informace důležité ke správnému rozhodování. [12]

Řidič musí absorbovat informace nejen z vnějšího prostředí, ale také z vnitřního prostředí dopravního prostředku a dále také vnitřních myšlenek a procesů odehrávajících se na mentální úrovni řidiče, jejich příkladem mohou být neodbytné myšlenky, nevyřešené problémy či rozpad osobních vazeb. Typickým příkladem vnějších informací je dopravní značení, počasí a vše co se vyskytuje v zorném úhlu řidiče. Sdělovače na palubní desce, vnitřní atmosféra či hudební kulisa jsou na druhou stranu řazeny do vnitřních informací. [12]

4.6 Eye-tracking

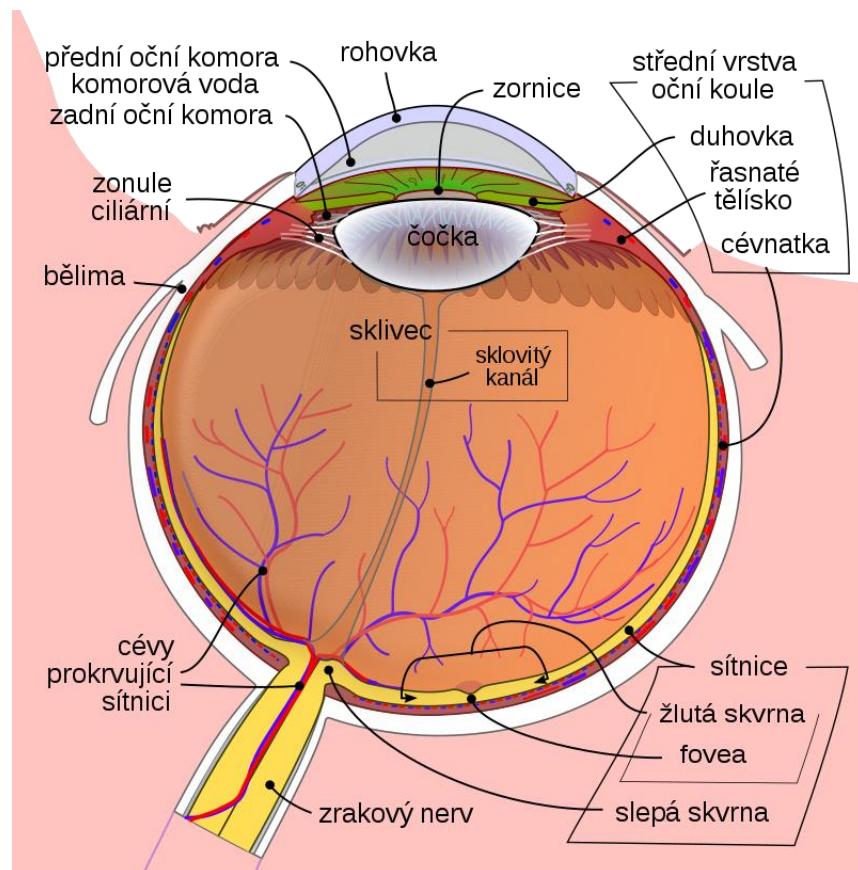
Eye-tracking je technologie umožňující sledovat pohyb očí, tato technologie nám dává informace o tom na jak dlouho, kdy, kam a v jakém pořadí jedinec kouká. [13]

4.6.1 Charakteristika lidského oka

Jedním z nejvyužívanějším a nejsilnějším lidským smyslem je zrak. S rozpětím přibližně 200 stupňů na šířku a 130 stupňů na výšku je struktura oka uzpůsobena pro promítání paprsků světla skrz zornici na sítnici. Na té se nachází světločivné buňky, konkrétně tyčinky registrující množství dopadajícího světla a čípky sloužící k vnímání

barev. Díky těmto buňkám se světlo přemění v elektrické impulzy. Tyto impulzy jsou dále vedeny pomocí očního nervu do mozku. [13]

Na obrázku číslo 8 je znázorněno lidské oko. Jednotlivé jeho části budou v návaznosti na eye-tracking dále popsány. [13]



Obrázek 8 Struktura lidského oka

[14]

Bělima je pevná vazivová blána a pokrývá většinu oční koule, zhruba pět šestin. Jedná se o ochranný obal vnitřních částí oka, která tvoří pevnou oporu pro připojující se šlachy okohybných svalů. Na přední straně bělimy se nachází mírně zkosený okraj rohovky. [13]

Rohovka uzavírá přední část bělimy. Tento kruhový otvor má zhruba 12 milimetrů v průměru. Rohovka je vstupní částí optického prostředí oka a má velký význam při lomu světla. [13]

Cévnatka se rozkládá na zadních dvou třetinách prostřední vrstvy stěny oční koule. Jedná se o blánu bohatou na cévy, jimiž jsou vyživovány tyčinky a čípky, tedy pigmentové buňky sítnice. Pro optickou vrstvu představuje tmavou komoru. Cévnatkou prostupuje sítnicová tepna, žíla a vlákna zřetelného nervu. [13]

Řasnaté těleso dostalo název podle svého tvaru zřaseného prstence. Nachází se na vnitřní straně bělimy. Jeho zadní okraj se ztenčuje a postupně přechází do cévnatky a jeho přední okraj se propojuje s duhovkou. Vazivové stoma tvoří podklad řasnatého tělesa a jsou v něm uloženy svalové buňky, jejichž kontrakcemi je uvolňován závěsný aparát čočky. Tím je možná akomodace čočky neboli změna její mohutnosti a tvaru při zaostřování na různé vzdálenosti. [13]

Duhovka je nejvíce vysunutou částí přední vrstvy oční stěny. V jejím centru se nachází panenka neboli zornice. Její přední plocha představuje barvu oka, která je individuální, a to zejména podle množství pigmentu. Duhovka má za úkol tvořit světelnou clonu. Sítnice pomocí pupilárního reflexu mění své osvětlení v závislosti na prostředí. [13]

Sítnice je dělena do dvou částí, jimiž je slepá část a funkčně nejvýznamnější optická část. V zadní části oka se nachází žlutá skvrna s prohlubní, nachází se ve vrcholu optické osy oka. Promítá se do ní centrální paprsek, tudíž je to místo s nejostřejším viděním. Ve žluté skvrně se nacházejí pouze čípky, a to v největší hustotě, to je hlavním důvodem proč lidské oko vnímá ostře jen malou část zorného pole. Zhruba čtyři milimetry od žluté skvrny se nachází slepá skvrna, toto bělavé políčko nese svůj název díky absenci světločivých elementů. [13]

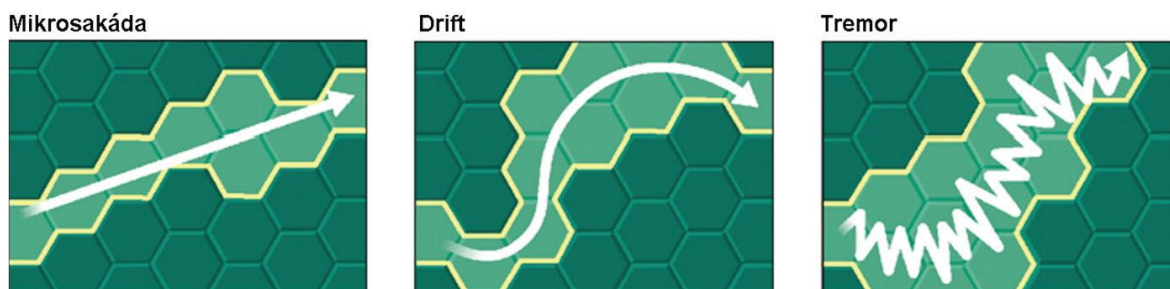
Čočka je ovládána závěsným aparátem, který umožňuje přenášet účinky ciliárního svalu. Podstatou je napínání a povolování vláken řasnatého tělíska, které buď zploští čočku při pohledu do dálky, anebo čočku vyklene a zvýší tak její optickou mohutnost při pohledu na blízko. [13]

Sklivec je průhledná a měkká část vyplňující sklivcovou komoru. Na její přední ploše se nachází zadní plocha čočky, umístěná v prohloubené jamce. [13]

Oční komory jsou vyplněné komorovým mokem a nacházejí se mezi přední plochou čočky a zadní plochou rohovky. [13]

4.6.2 Pohyby očí

Jedním z hlavních dovedností oka je jeho schopnost zaměřit se na určitý bod. Tato schopnost oka se nazývá fixace. Fixace je drobný pohyb, trvající od několika desítek milisekund až po několik sekund. Jak již bylo zmíněno, ostrý obraz vnímá oko jen u velmi malé části zorného pole, proto se i během fixace oko zaměřuje na různé jednotlivé prvky scény a provádí mikropohyby. Základní druhy mikropohybů jsou vyobrazeny na obrázku číslo 9 a jsou jimi tremor, drift a mikrosakády. Účelem těchto pohybů je zabránit slábnutí vidění v důsledku přesycení receptorů sítnice, neboť pouhých 6 úhlových minut představuje zhruba 10 až 15 čípků a tuto výchytku je schopno oko překonat během pouhých 200 milisekund. [13]



Obrázek 9 Mikropohyby oka

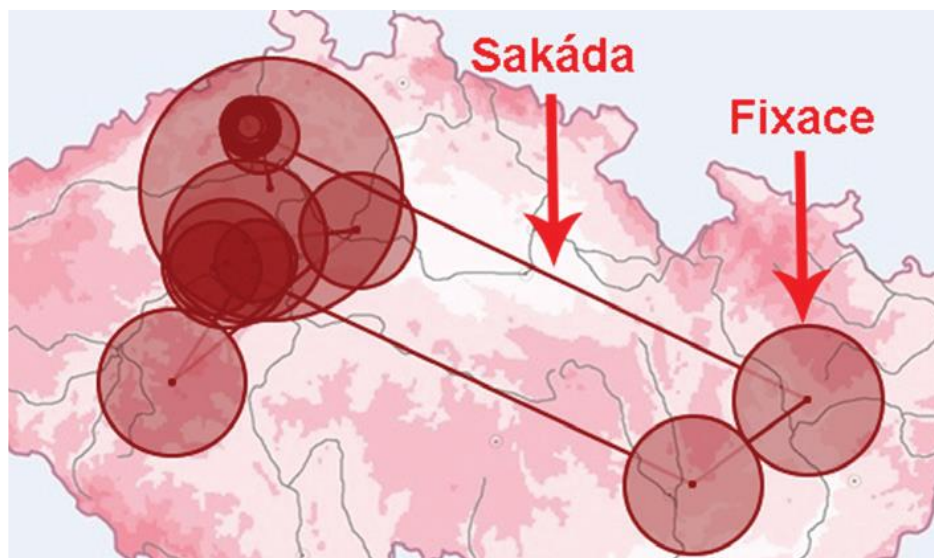
[13]

Tremor je nejspíše charakterizován jako třes. Jedná se totiž o drobný pohyb a předpokládá se, že je způsoben okohybnými svaly, respektive jejich nepřesnou kontrolou. Tento drobný pohyb má zhruba frekvenci 90 Hz. Pomalými a klouzavými pohyby je označován drift. Tento pohyb posouvá oko mimo střed fixace, na rozdíl od mikrosakád, které mají za úkol jej do středu opětovně vrátit. Tyto pohyby člověk není schopen vnímat a je možné je zaznamenat pouze pomocí vysokofrekvenčních eye-trackerů. [13]

Jako nejrychlejší pohyb lidského těla jsou označovány sakády. Tyto pohyby přesouvají oko z jedné fixace na jinou a na obrázku číslo 10 jsou vyobrazeny jako linie mezi fixacemi znázorněnými jako kruhy, které podle délky fixace zvětšují svůj průměr.

Jejich rychlost dosahuje až 500 stupňů za sekundu a jejich běžná délka je 30 až 80 milisekund. Během těchto extrémně rychlých pohybů lidský mozek není schopen vnímat téměř žádné vizuální podněty. Proto je pro člověka nemožné vidět pohyb vlastních očí

v zrcadle. I když jsou tyto pohyby nejčastěji znázorňovány jako přímé spojnice mezi body fixace, o přímý pohyb jde jen v ojedinělých případech. Nejčastěji totiž mívají různá zakřivení a tvary. Velmi často také nekončí přesně ve středu fixace, ale dochází k takzvané glisádě neboli kolísání před zastavením. Člověk vykoná okolo 200 000 sakád denně. [13]



Obrázek 10 Sakáda a fixace

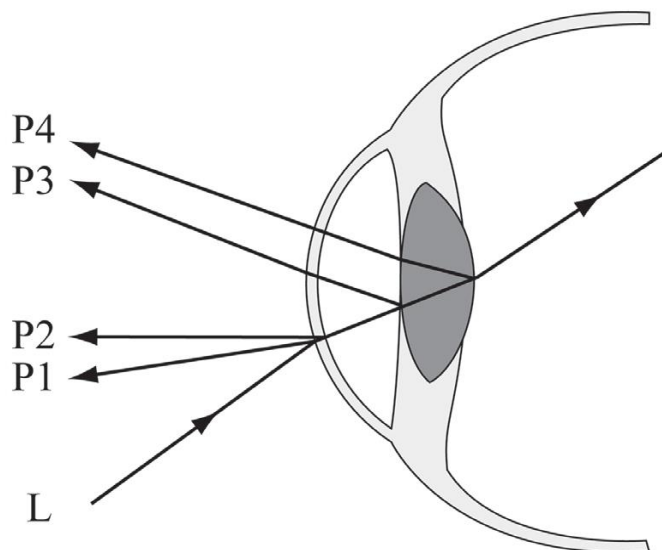
[13]

Dalším pohybem je pohyb sledovací, tento pohyb oči vykonávají při sledování relativně pomalu pohybujícího objektu. Nejtypičtějším příkladem k využití tohoto pohybu je sledování letadla, pohybujícího se na obloze. Takovýto objekt zvládne fovea velmi přesně sledovat, pokud se pohybuje rychlostí menší, než je 20 až 30 stupňů za sekundu. Sledovací pohyb nelze vykonávat bez objektu sledování nebo ve tmě. [13]

4.6.3 Vývoj metod sledování pohybu očí

Lidé byly fascinováni funkcí a podstatou lidského zraku již dávno, kupříkladu Aristoteles si již ve čtvrtém století před naším letopočtem všiml, že není možné pohybovat jedním okem jinak než druhým a došel tak k názoru, že je třeba oči brát jako jednu společnou jednotku. Velkým převratem pro vývoj sledování pohybu očí však byl až v devatenáctém století český biolog, fyziolog a anatom Jan Evangelista Purkyně. Proslul hlavně díky svým popisům obrázků. Ty popisují odrazy od povrchu oka a umožnily tak přesný záznam polohy

oka. Viditelné Purkyňovi obrázky jsou celkem čtyři a jsou znázorněny na obrázku číslo 11. Přičemž pod označením P4 je vyobrazen odraz světelného paprsku od zadní strany rohovky a od přední strany rohovky pod označením P3. P2 označuje způsob odrazu paprsku od vnitřní strany rohovky a P1 naopak od její vnější strany. [13]



Obrázek 11 Purkyňovy obrázky

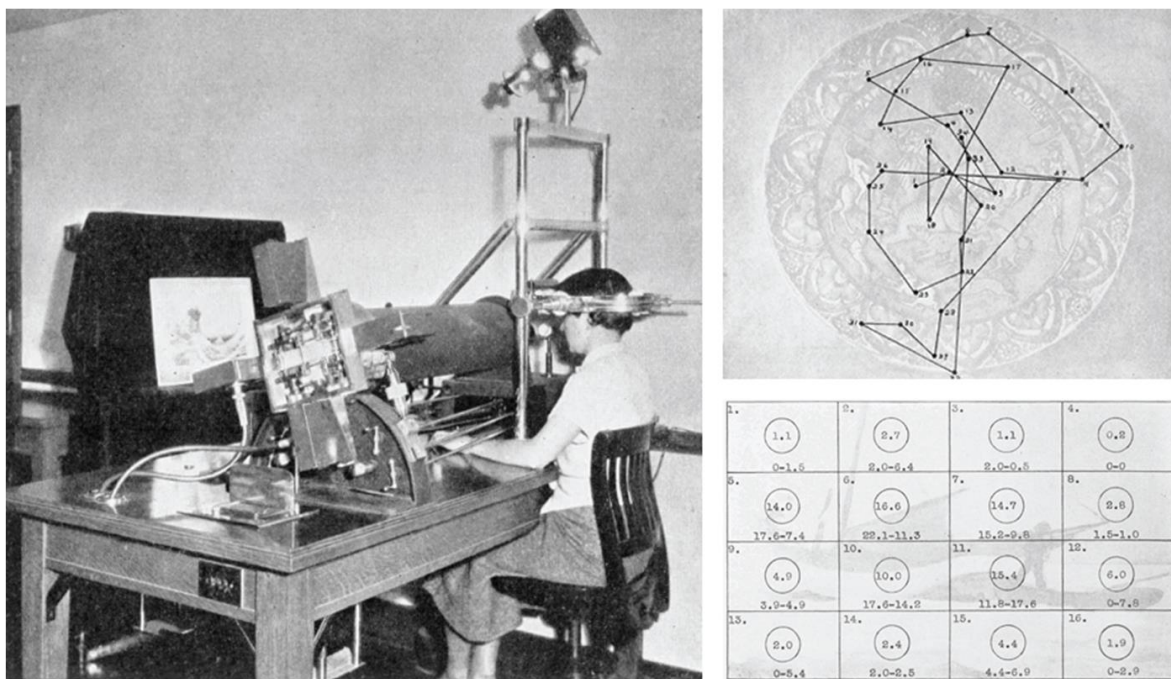
[13]

Émile Javal byl francouzský vědec, který jako první popsal pohyb očí jako neplynulý. Byl zakladatelem oftalmologické laboratoře v Sorboně, kterou také vedl. Jako první také popsal a pojmenoval sakády na konci 19. století. Pro svou práci v roce 1878 Javal sestrojil zařízení pro záznam pohybu očí. Toto zařízení fungovalo na principu odrazu zrcátka na fotografickou desku a bylo uchyceno na oko. O dvacet let později, tedy roku 1898 na jeho počínání navázal Delabarre, který na oko připevnil sádrouvou miskou s drátkem. Oční pohyby pak byly zaznamenávány díky kymografu a Delabarre tvrdil, že zařízení bylo velmi přesné, obzvláště při pomalých pohybech očí. Rychlejší a přirozenější pohyby očí zařízení nebylo schopno zakreslit. Tato metoda byla vcelku bolestivá a pro znečistlivění oka byl užíván roztok kokainu. [13]

Opravdu velký převrat v metodách sledování pohybu očí nastal až v roce 1901, v tento rok pánové Dodge a Cline vytvořili fotografický přístroj, který umožňoval sledování

oka bez jakéhokoliv uchycení. Nejenže svým výtvozem odstartovali revoluci ve výzkumu pohybu očí, ale také ho učinili mnohem pohodlnějším pro všechny účastníky měření. [13]

Guy Buswell je jednou z hlavních osobností ve výzkumu pozornosti a položil základy dnešního eye-trackingového výzkumu. Proslavil se hlavně svou prací na univerzitě v Chicagu, kde zaznamenal údaje o pohybu očí od 200 respondentů. Tito respondenti měli za úkol si prohlédnout několik obrázků. Na rozdíl od předcházejících experimentů, kde se objevovaly jednoduché obrazce nebo texty. Během tohoto experimentu bylo zaznamenáno celkem 5,5 kilometru filmového pásu. Výsledkem bylo nejen porovnání různých respondentů, ale také distribuce fixací, porovnání několika prvních a posledních fixací, či porovnání trajektorií očí respondentů při sledování stejného stimulu se zadanými různými úkoly. Eye-trackingové zařízení, které Buswell pro svůj experiment v roce 1935 použil je vyobrazeno na obrázku číslo 12 společně s jeho výstupy. [13]



Obrázek 12 Buswellovo eye-trackingové zařízení (vlevo) s jeho výstupy (vpravo)

[13]

V 70. letech 20. století se vývoj v sledování oka začal zaměřovat hlavně na zdokonalení eye-trackerů, kde orientace byla hlavně na jejich přesnost. [13]

4.6.4 Rozdělení technik sledování oka

Jedním z nejobecnějších rozdělení technik sledování pohybu oka je podle způsobu měření polohy oka. V takovémto případě existují pouze dvě metody, první z nich zaměřuje polohu oka vzhledem k hlavě a druhá měří orientaci oka v prostoru. [13]

Dalším možným rozdělením technik je do těchto čtyř kategorií, které budou dále rozebrány:

- Elektro-OculoGraphy (EOG),
- Scleral contact lens (kontaktní čočky),
- Photo-OculoGraphy (POG) a Video-OculoGraphy (VOG),
- Pupil and Corneal Reflexion Tracking. [13]

4.6.4.1 Elektro-OculoGraphy (EOG)

Podstatou elektrookulografie (EOG) je měření elektrického odporu kůže. Metoda využívá připevněných elektrod kolem očí, jak je vyobrazeno na obrázku číslo 13, které snímají poměrně malé rozdíly odporů v kůži a z nich je dopočítáván pohyb očí. Hlavní výhodou tohoto měření je možnost zjišťovat polohu oka i při zavření očního víčka, čehož je využíváno hlavně při měření během spánku. Metoda zjišťuje pozici oka vůči hlavě, proto pro zjištění směru pohybu, se musí zaznamenat i poloha hlavy. Tato metoda se řadí mezi nejméně přesné techniky z výše uvedených. [13]



Obrázek 13 Elektro-okulograf (EOG)

[15]

4.6.4.2 Scleral contact lens (kontaktní čočky)

Jednou z nejpřesnějších metod na druhou stranu je technika využívající pro měření kontaktní čočku, ve které je namontován optický nebo mechanický referenční objekt. Tato čočka je pak umístěna přímo na oko. Od počátku, kde byly využívány sádrové misky vývoj velmi pokročil a jsou používány upravené moderní čočky ve kterých je umístěn fosfor nebo drátěná cívka indukující tři navzájem kolmé zdroje magnetického pole, příklad této čočky s drátěnou cívkou je vyobrazen na obrázku číslo 14. I tato technika využívá pro své měření polohu oka vzhledem k hlavě, a i když je velmi přesná, může být pro respondenta nepříjemná a zavádění čočky do oka není snadné. [13]



Obrázek 14 Kontaktní čočka s drátěnou cívkou

[13]

4.6.4.3 Photo-OculoGraphy (POG) a Video-OculoGraphy (VOG)

Fotookulografie nebo videookulografie fungují na principu detekce rozlišitelných částí oka, hlavně tvar zornice a pozice hranice rohovky a bělimy, popřípadě odrazu světelného zdroje od rohovky. Možností této techniky, jejíž ukázka se nachází na obrázku číslo 15, je zaznamenání videozáznamů, které je možné manuálně zpracovat. Toto procházení může být zdlouhavé a náchylné k chybám a velkou roli hraje vzorkovací frekvence videozařízení. U některých metod musí být hlava zafixována. Pozice hranice rohovky a bělimy neboli takzvaná limba, může být sledována automaticky pomocí infračervených fotodiod. Hlavní výhodou sledování limby je její neměnnost v různých

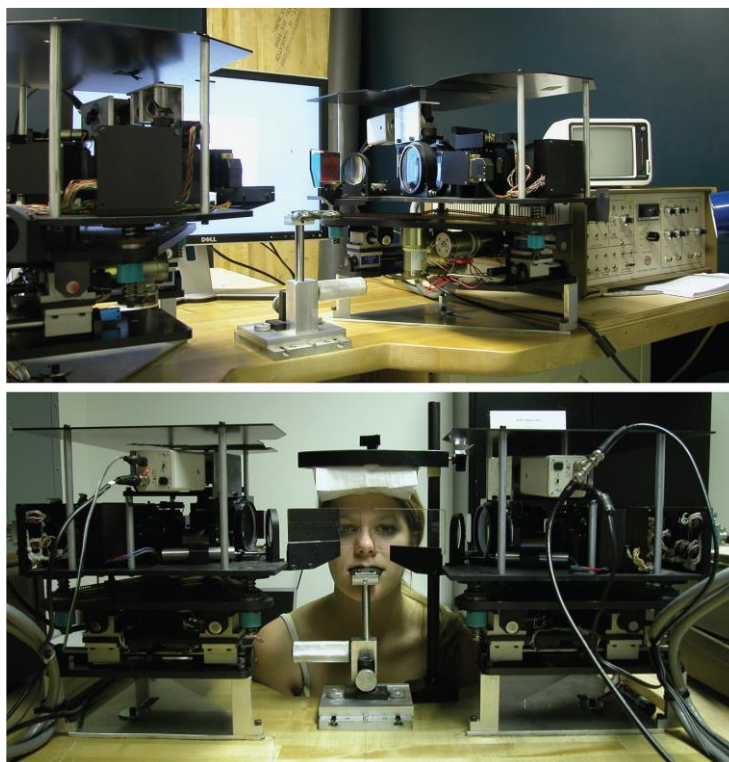
světelných podmínkách, musí se však počítat s jejím častým překrytím očními víčky při mrkání. [13]



Obrázek 15 Videookulograf.

[16]

Výborných výsledků v prostorové přesnosti a frekvenci je dosahováno metodou Dual Purkinje Image (DPI) tracker, nacházející se na obrázku 16 nahoře. Tato metoda funguje na principu měření dvou Purkyňových obrázků, odrazů světelného paprsku od čočky a rohovky, od systému zrcadel a optických serv. U této metody je nutnost pevně upevnit hlavu, případně i zuby, což je vyobrazeno na obrázku číslo 16 dole. [13]



Obrázek 16 Dual purkinje Image tracker (nahore) fixace hlavy v něm (dole)

[13]

4.6.4.4 Pupil and Corneal Reflexion Tracking.

Pupul and Corneal Reflexion Tracking je pravděpodobně nejvyužívanější metodou v moderním eye-trackingu. Jedná se o metodu využívající detekci pozice středu zornice a korneálního odrazu infračerveného paprsku od rohovky. Tyto dvě polohy se vůči sobě mění, ale zůstávají relativně konstantní při drobných pohybech hlavy, proto je tato metoda nejčastěji využita v technologiích pro experimenty v reálném prostředí. Ukázky zpracování této technologie se nachází na obrázku číslo 17. [13]



Obrázek 17 Mobilní eye-trackery od společností SR research (vpravo), Ergoneers (uprostřed) a Tobii (vpravo)

[13]

5. Praktická část

Cílem praktické části bylo objasnění vnímání divoké zvěře člověkem, konkrétně řidičem. Za účelem tohoto objasnění byla provedena série experimentálních jízd s příslušnou technikou a danou metodikou, která bude dále rozebrána.

5.1 Vybavení pro měření

Pro úspěšné měření bylo nezbytné správné vybavení, které je dále uvedeno a charakterizováno.

5.1.1 Eye-trackingové brýle od výrobce Tobii Pro 3

Tyto brýle, znázorněné na obrázku číslo 18, disponují čtyřmi vestavěnými kamerami pro snímání očí vestavěných přímo do skel, stejně jako šestnáct osvětlovačů oka. Dále obsahují jednu širokoúhlou kameru pro snímání okolí vestavěnou přímo do obrouček společně s gyroskopem, akcelerometrem, mikrofonom a magnetometrem. Veškerá tato použitá technologie umožňuje nejen dosáhnout velmi kvalitních výsledků v eye-trackingu, ale také umožňuje pohodlné použití bez nutnosti fixace. [17]



Obrázek 18 Tobii Pro 3 eye-trackingové brýle

[17]

5.1.2 Nahrávací jednotka

Nahrávací jednotka je malý počítač, který kontroluje hlavní jednotku brýlí. Nahrává a zaznamenává veškerá eye-trackingová data, zvuky a video z širokoúhlé kamery na přenosnou SD kartu. Nahrávací jednotka je vybavená vyměnitelnou, dobíjecí lithium iontovou baterií, která dobíjí nejen jednotku, ale také brýle. Tato nahrávací jednotka, vyobrazená na obrázku číslo 19, disponuje řadou konektorů a je ovládána pomocí Pro Glasses 3 kontrolní aplikací. Dále jsou na obrázku číslo 19 znázorněny tyto funkce a ovladače:

- 1) konektor hlavní jednotky
- 2) mikro USB konektor
- 3) synchronizační konektor
- 4) hlavní spínač se světelným indikátorem
- 5) světelný indikátor SD karty
- 6) světelný indikátor konektivity hlavní jednotky
- 7) LAN port
- 8) slot pro paměťové karty
- 9) klipsna opasku
- 10) držadlo baterie

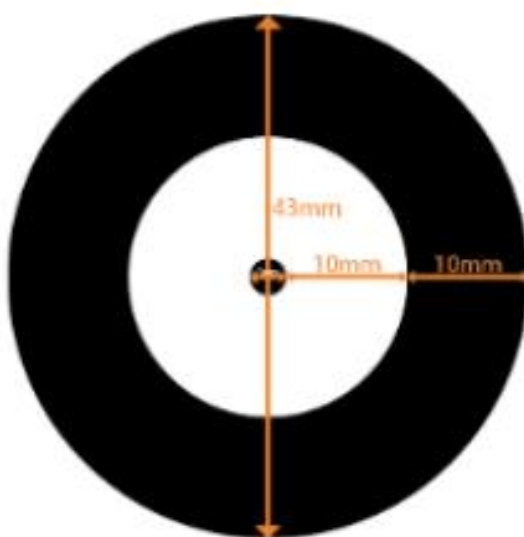


Obrázek 19 Nahrávací jednotka eye-trackingových brýlí

[17]

5.1.3 Kalibrační karta

Kalibrační karta je velmi důležitá na začátku každého měření. Tato bílá karta s černou kružnicí, černou tečkou v jejím středu a velmi přesnými rozměry je znázorněna na obrázku číslo 20. Aby Tobii Pro 3 eye-trackové brýle správně fungovaly, musí se před každým měřením nebo výměnou respondentů zkalibrovat. K tomu je určena tato karta, do jejího středu se respondent při kalibraci dívá, aby brýle mohly správně určit střed zornic.



Obrázek 20 Kalibrační karta

[18]

5.1.4 Notebook

Notebook disponující aplikací Pro Glasses 3 tvoří rozhraní mezi brýlemi a respondenty. V aplikaci je možná kontrola záznamu přímo v průběhu experimentu, také je možné zahájit a ukončit experiment či kalibraci brýlí.

5.1.5 Automobil Mitsubishi

Pro experiment byl použit automobil značky Mitsubishi s označením modelové řady L200. Tento automobil byl vybrán díky svým vlastnostem při pohybu v terénu, a také pro sjednocení výhledu respondentů při experimentu.

5.2 Místo měření a respondenti

Pro měření byla vybrána Obora Sedlice. Tato obora je obehnána kamennou zdí a rozkládá se na území 255 hektarů. Má tvar pravidelného šestiúhelníku, jak je znázorněno na obrázku číslo 21, a je protkána zpevněnými, částečně zpevněnými a nezpevněnými cestami. Obora je rozdělena do dvou částí, oddělných od sebe dřevěným plotem. V první části je chována populace daňka skvrnitého společně s populací jelena sika Dybowského a menší populací srnce obecného. V druhé části je chována populace prasete divokého. V celé oboře je pak možné potkat zvěř drobnou. Obora byla vybrána nejen z důvodů bezpečnosti, aby se zamezilo případnému střetu s jinými automobily a účastníky silničního provozu při provádění experimentu, ale také kvůli vyšší hustotě divoké zvěře zvyšující šance naměření relevantních dat při konání experimentu.

Pro experiment byli vybráni tři respondenti s věkovou, zkušenostní a pohlavní diverzitou u kterých se nevyskytovaly žádné oční vady, které by mohly ovlivnit výsledky experimentu. I když každý respondent byl držitelem řidičského oprávnění skupiny B, každý

z nich měl jinou úroveň řídičských dovedností. Samotné měření pak probíhala v různých světelných podmínkách a denních dobách.



Obrázek 21 Mapa Obory Sedlice

[19]

5.3 Metodika měření

Měření probíhalo vždy minimálně za účasti dvou respondentů. První z nich, řidič po nasazení Tobii Pro 3 eye-trackingových brýlí upřel svůj pohled do středu kalibrační karty. Druhý respondent v aplikaci na připojeném notebooku spustil kalibraci. Po automatickém zkalibrování druhý respondent na sedadle spolujezdce pojmenoval a spustil v aplikaci záznam a odstartoval tak jednotlivá měření. Úkolem řidiče bylo projetí okruhu v oboře vedoucího skrz obě její části, a to přibližně rychlostí třicet kilometrů za hodinu. Tato rychlost byla shledána optimální s ohledem na bezpečnost, stav silnic a možnostem nahrávacího vybavení. Druhý respondent na sedadle řidiče zapisoval každý střet se zvěří a ukončoval nahrávání na konci okruhu.

5.4 Zpracování výsledků

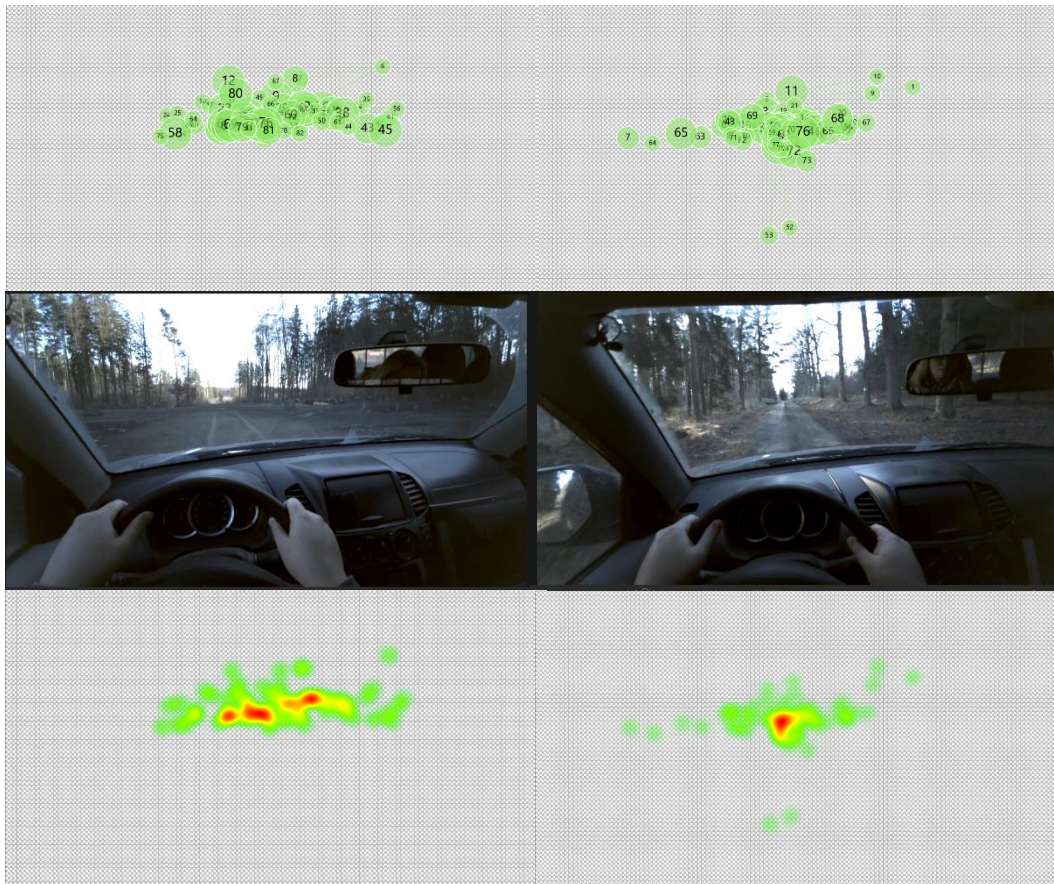
Zpracování výsledků proběhlo v programu Tobii Pro Lab. Tento program mimo jiné umožňuje rozdělit video a dále ho separátně zpracovat, či vykreslit takzvanou Heat mapu. Tato Heat mapa je barevné znázornění míst kam respondent, v tomto případě řidič, nejčastěji upírá svůj zrak. Barvy jsou vykresleny od světle zelené, přes žlutou až po červenou barvu, která znázorňuje místo s častou frekvencí fixací. Další z funkcí programu je takzvaný Gaze plot. Tato funkce vykresluje jednotlivé fixace s číselným označením v pořadí, v jakém byly zaznamenány. Fixace jsou vyobrazeny pomocí barevných plných kruhů s velikostí odpovídající délce fixace, tyto kruhy jsou propojeny liniemi představující sádky.

6. Výsledky a diskuse

V následujících kapitolách jsou znázorněny a porovnány jednotlivé výsledky z programu Tobii Pro Lab.

6.1 Řidič číslo jedna

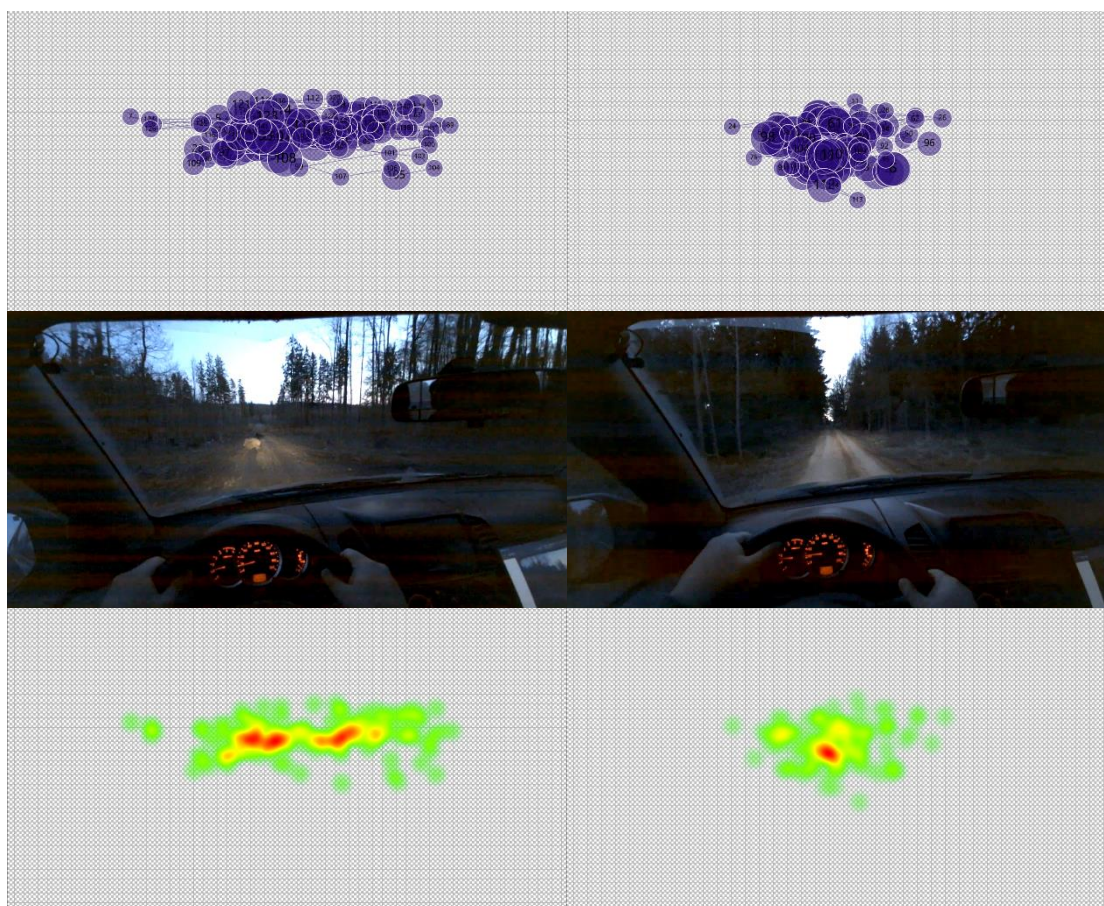
První respondent byl sledován jako pokročilý řidič vzhledem k ujetým kilometrům a délce doby vlastnění řidičského oprávnění. Řidič byl velmi dobře obeznámen s místními cestami. Na obrázku číslo 22 je vyobrazeno porovnání úseku v celkové délce 35 sekund v denní době za jasného světla. Přičemž obrázek je rozdělen do několika sekcí. Pravá strana znázorňuje úsek, kde se řidič střetl s několika divokými prasaty, a naopak levá strana je stejný časový interval bez zpozorování divoké zvěře. V horní části obrázku je vyobrazení funkce Gaze plot. Na pravé straně, tedy na straně úseku bez střetu se zvěří, jsou jasně patrné krátké fixace na zpětné zrcátko označené číslem 1 trvající 152 milisekund. Dále dvě krátké fixace na tachometr na palubní desce označené čísly 52 a 53 o délce 80 a 128 milisekund.



Obrázek 22 Denní střet s prasaty řidiče jedna

Pro porovnání pak fixace na levé straně s číslem 45 trvala 501 milisekund. Prostřední dvě vyobrazení jsou ilustrační záběry vybrané z daného úseku, v levé části je možné postřehnout divoká prasata. Spodní část obrázku je věnována Heat mapám, tedy barevným znázorněním míst s nejčastějšími fixacemi. Při srovnání levé a pravé části, tedy úseku, kdy řidič musel vnímat a reagovat na pohyb divokých prasat a pravé části, kde nebyl žádný výskyt divoké zvěře je zřejmé, že fixace jsou odlišné. Zatímco v levé části jsou fixace směřovány hlavně na silnici a přebíhající zvěř, v pravé části se nachází i drobné fixace mimo směr jízdy.

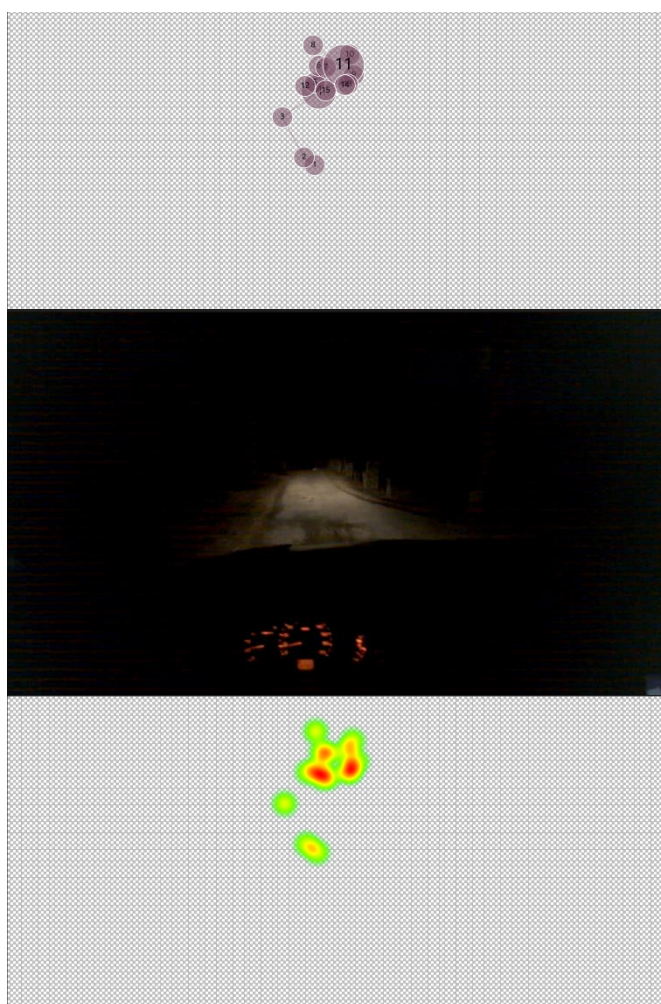
Další jízda probíhala za snížené viditelnosti a porovnávají budou úseky s celkovou délkou 60 sekund. Znovu je obrázek číslo 23 rozdělen do dvou sekcí, levá část obrázku je zaměřena na výstupy z úseku s velkou četností divokých prasat. Pravá část je naopak úsek se stejným časovým intervalem v průběhu stejného měření, avšak bez spatření divoké zvěře. V horní části se nachází vyobrazení funkce Gaze plot. Jako měřítko porovnání slouží v levé části fixace s označením 7 s délkou 80 milisekund a fixace s číselným označením 108 a délkou 1222 milisekund. V prostřední sekci obrázku se nachází ilustrační záběry z daných



Obrázek 23 Podvečerní střet s prasaty řidiče jedna

částí nahrávky, znázorňující výhled řidiče. Spodní část obrázku je věnována Heat mapám, ze kterých je patrné, že fixace v úseku se zvěří jsou více rozprostřené.

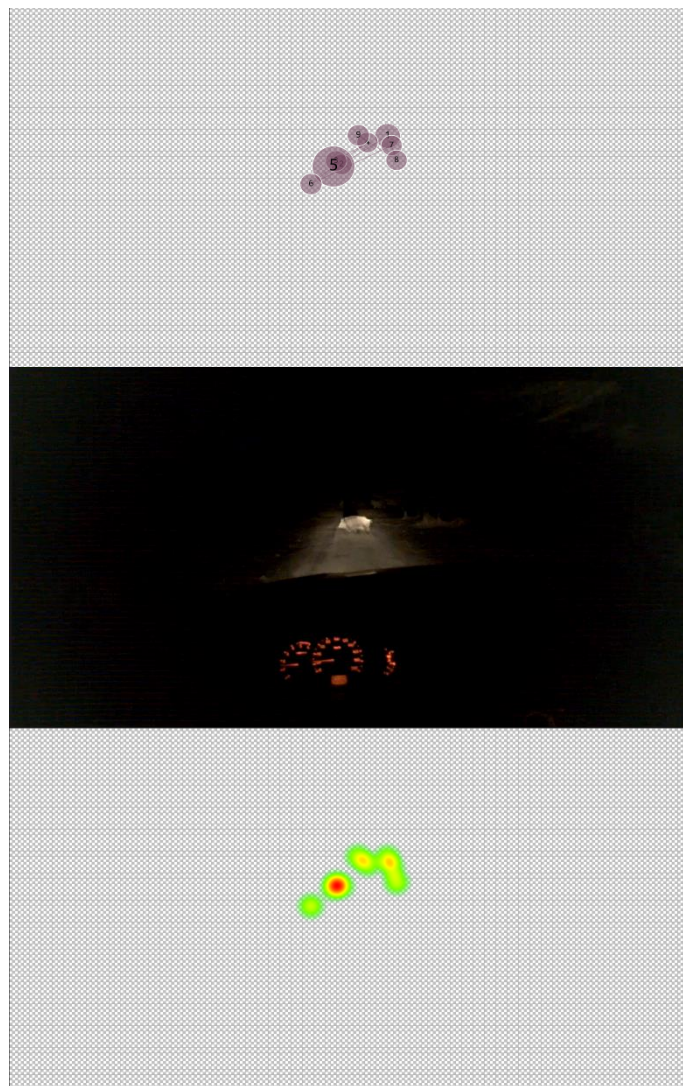
Na obrázku číslo 24 je znázorněn střet řidiče číslo jedna s liškou v nočních hodinách trvající pouhých 5 sekund. V horní části obrázku se nachází vyobrazení Gaze plot funkce zobrazující fixace 1,2 a 3 trvající okolo 90 milisekund s následující fixací číslo 4, která je přímou fixací na lišku a délkou trvání 421 milisekund. Na prostřední části obrázku je vyobrazen pohled řidiče číslo jedna z automobilu v čase, kdy liška přebíhala cestu. Ve spodní části je vyobrazena Heat mapa z tohoto krátkého časového úseku, na které jsou znázorněny fixace na přebíhající lišku v poměru délky trvání.



Obrázek 24 Noční střet s liškou řidiče číslo jedna

Na obrázku číslo 25 je vykreslen střet řidiče číslo jedna s divokým prasetem trvající 4 sekundy. V horní části obrázku je vyobrazen výsledek z funkce Gaze plot, kde první fixace s označením 1 měla trvání 302 milisekund a fixace s označením 5 trvala 1954 milisekund.

Prostřední část obrázku pak znázorňuje výhled řidiče v době průběhu střetu s prasetem. Spodní část obrázku je věnována Heat mapě potvrzující, že fixace s označením 5 měla trvání téměř poloviny časového úseku, a proto je zbarvena do červena.

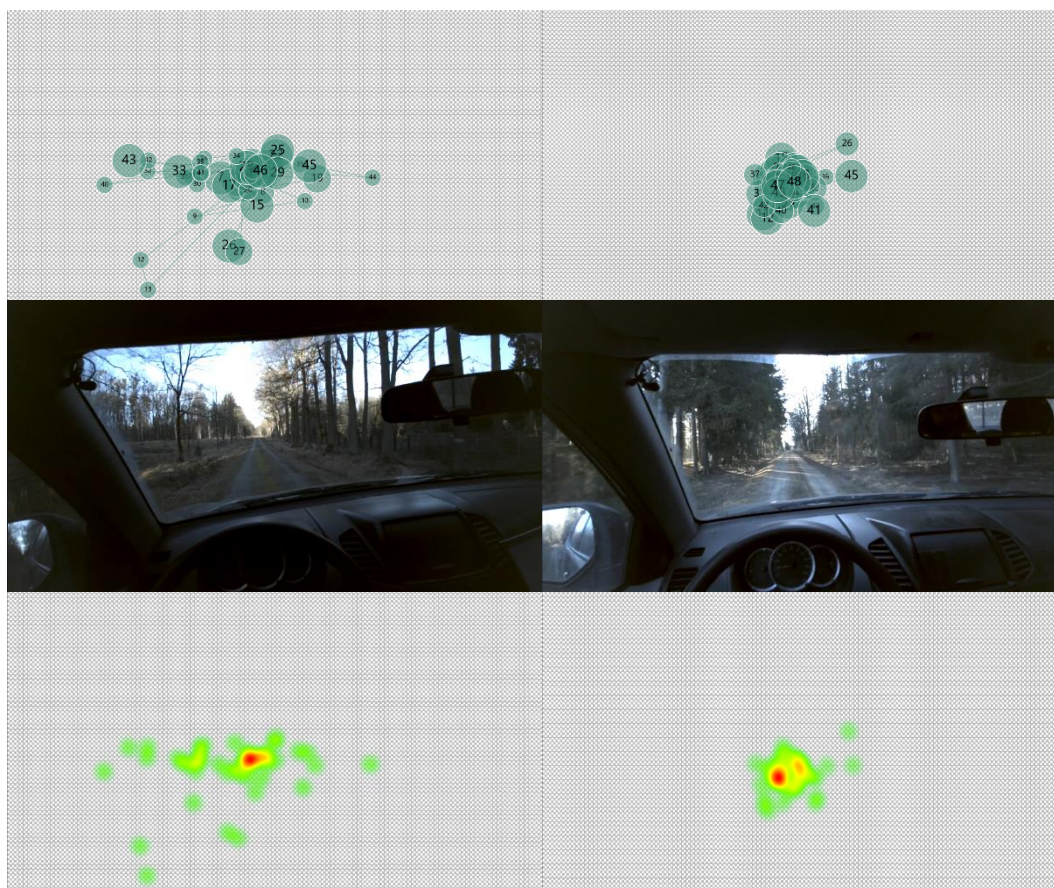


Obrázek 25 Noční setkání s divokým prasetem řidiče jedna

6.2 Řidič číslo dvě

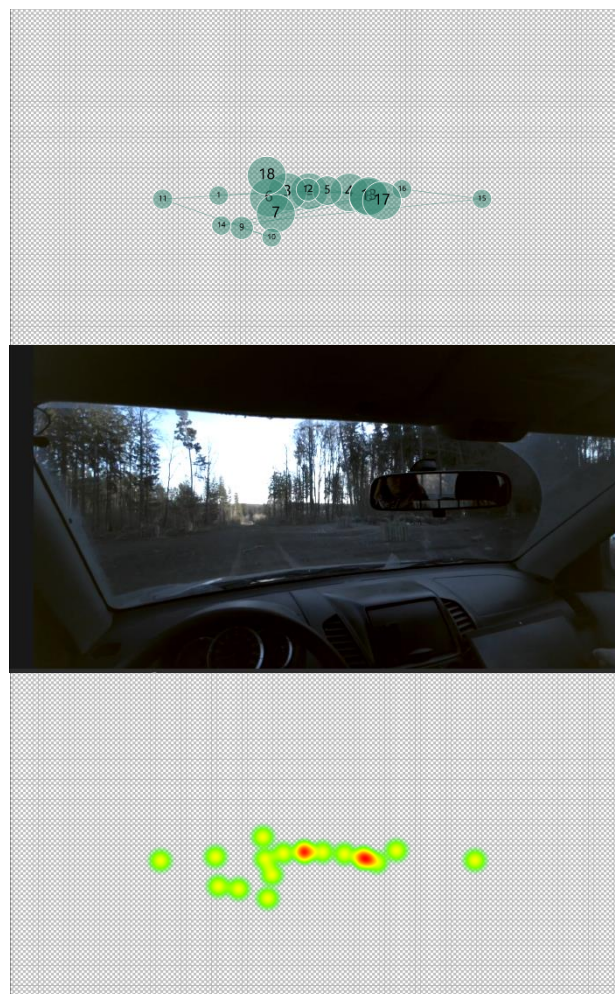
Druhý respondent byl shledán jako zkušený řidič s dlouholetou praxí, vzhledem k ujetým kilometrům a délce doby vlastnění řidičského oprávnění. Řidič nebyl obeznámen nebo pouze částečně s místními cestami. Na obrázku číslo 26 jsou výsledky zpracování setkání řidiče dva se srnci v denní době bez zhoršených světelných podmínek na levé straně obrázku v porovnání s jízdou bez zaregistrování jakékoliv zvěře na pravé straně. Obě části byly pořizeny během jedné jízdy a znázorňují úsek trvající 30 sekund. V horní části obrázku

je porovnání funkce Gaze plot a pro měřítko byla vybrána fixace číslo 43 na levé straně o celkové délce 1202 milisekund a fixace číslo 45 na straně pravé trvající 681 milisekund. Uprostřed se pak nachází reálné pohledy řidiče z těchto úseků. V dolní části obrázku se pak nachází porovnání Heat map, ze kterých je patrné, že při setkání řidiče se srnci mají fixace tendenci být méně u středu a více roztroušené než v úseku bez zvěře.



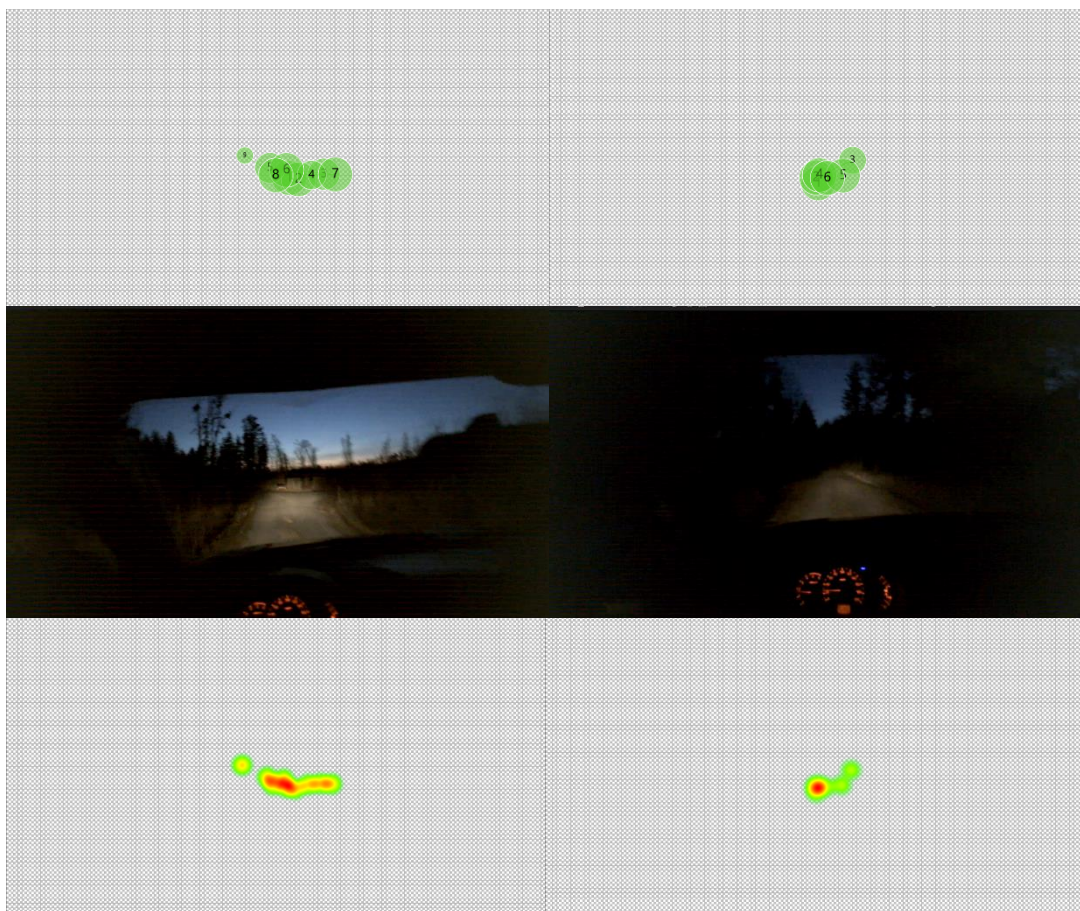
Obrázek 26 Denní setkání se srnci řidiče dva

Na obrázku číslo 27 je zpracováno denní setkání řidiče dva s prasaty. Zpracovávaný úsek měl délku trvání 15 sekund a na obrázku je rozdělen do třech částí. Horní část znázorňuje využití funkce Gaze plot, v které fixace číslo 15 měla trvání 60 milisekund a fixace číslo 7 trvala 1903 milisekund. Uprostřed se nachází znázornění reálného výhledu řidiče se zachycenou pozicí divokých prasat. Spodní část představuje Heat map se znázorněním rozmístění a délky fixací. Zde jsou fixace značně rozprostřené do stran.



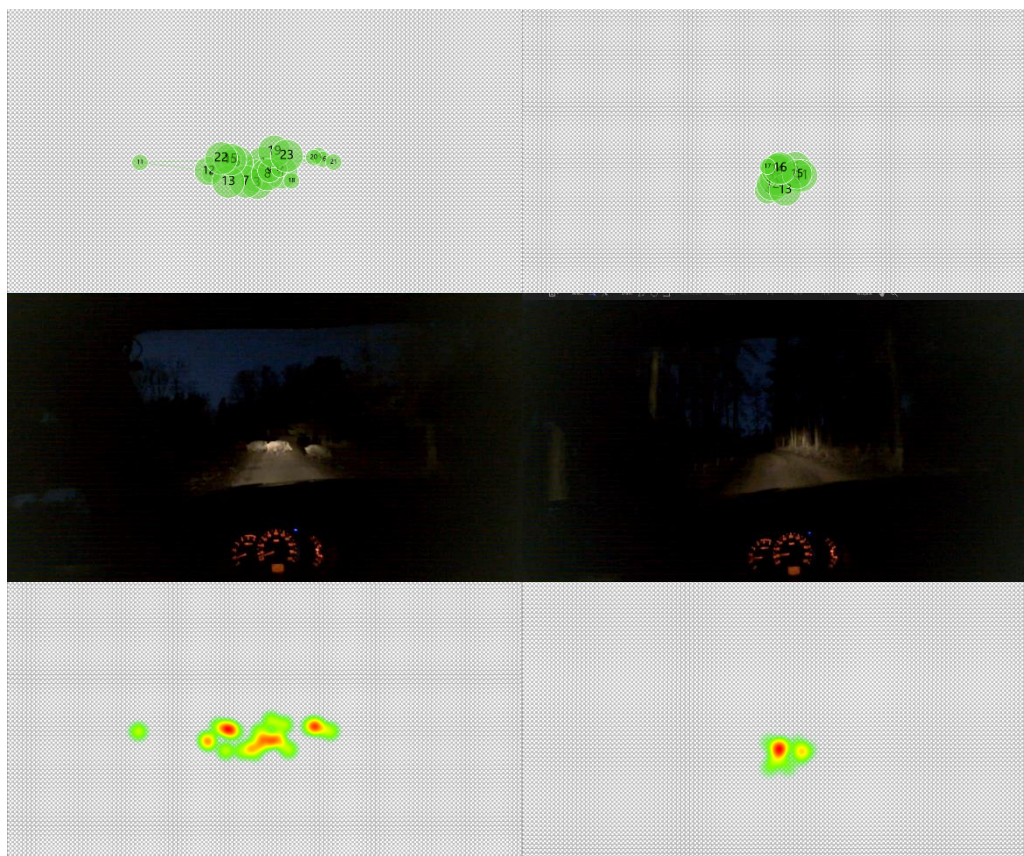
Obrázek 27 Denní setkání s prasaty řidiče dva

Na obrázku 28 se nachází seskupení výstupů programu Tobii Pro Lab při nočním setkání řidiče číslo dva s daňčí zvěří v porovnání s úsekem bez zvěře. Oba tyto úseky byly 10 sekund dlouhé a byly pořízené během jednoho měření. Na levé části obrázku jsou zaznamenány výstupy vzniklé při kontaktu s daňčí zvěří, na pravé pak porovnání stejně dlouhého časového úseku bez spatřené zvěře. V horní části jsou porovnány výstupy funkce Gaze plot. Fixace číslo 9 levé části obrázku má dobu trvání 117 milisekund a předešlá fixace, označená číslem 8 má dobu trvání 1663 milisekund. Na pravé straně má referenční fixace označená číslem 3 délku trvání 401 milisekund a fixace číslo 6 má dobu trvání 2115 milisekund. V prostřední části obrázku se nachází ukázky řidičova výhledu, na levé části společně se zachycenou zvěří. Pod nimi, tedy na spodní části jsou vyobrazeny Heat mapy z jednotlivých úseků. I při takto dlouhém úseku je znatelné rozložení fixací ve směru pohybu zvěře, tedy do strany v levé části obrázku. Na pravé je pak jedno výrazné červené centrum fixace.



Obrázek 28 Noční setkání s daňčí zvěří řidiče dva

Na obrázku číslo 29 se nachází porovnání dvou úseků trvajících 20 sekund. Levá část obrázku je věnována úseku s výskytem četného množství prasete divokého. Pravá část je pak věnována stejně dlouhému časovému úseku, kde nebyla žádná zvěř spatřena. Obě tyto části byly zhotoveny v noci za nízké viditelnosti a během jednoho jízdního záznamu. V horní části jsou porovnány výstupy funkce Gaze plot. Referenční hodnota fixace s označením 11 na části věnované setkání se zvěří, tedy levé, má celkovou délku 80 milisekund. Fixace číslo 13 má pak délku 541 milisekund. V pravé části má fixace s číslem 17 celkovou délku 163 milisekund a fixace s číslem 13 má 821 milisekund. Prostřední část obrázku znázorňuje řidičův výhled z automobilu, v levé části i se zachycenými divokými prasaty běžícími přes cestu. Spodní část obrázku je věnována Heat mapám, kde na první pohled je patrná jejich odlišnost. Zatímco během střetu se zvěří se fixace rozprostřou a mají tendenci zaujímat větší plochu, hlavně tedy do stran, tedy ve směru zvěře, na druhou stranu fixace na pravé části, tedy na straně bez vizuálního kontaktu se zvěří mají spíše centrickou tendenci.



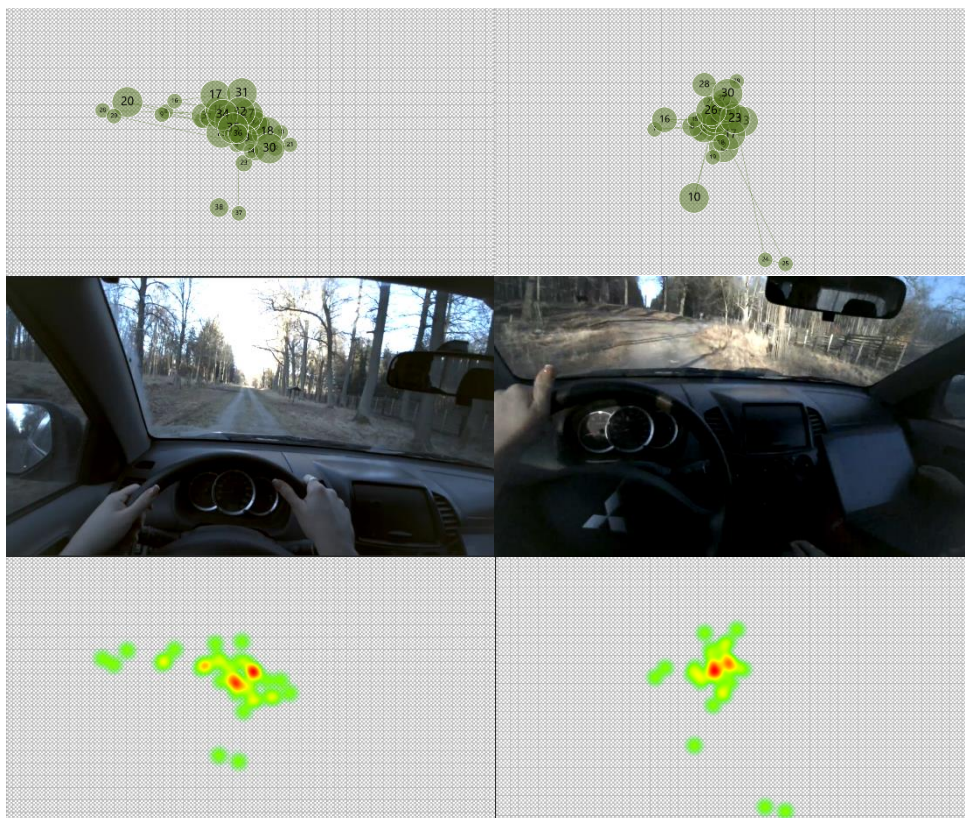
Obrázek 29 Noční setkání s prasaty řidiče dva

6.3 Řidič číslo tři

Řidič číslo tři byl shledán jako nezkušený vzhledem k ujetým kilometrům a délce vlastnění řidičského průkazu. Řidič také nebyl obeznámen s místními cestami.

Na obrázku číslo 30 je možné vidět porovnání dvou denních úseků o délce 20 sekund bez snížené viditelnosti. Na levé části obrázku jsou vyobrazena data zpracovaná z úseku, ve kterém se respondent setkal s jeleny sika Dybowského a na pravé části je úsek o stejné časové délce, bez zpozorování jakékoliv zvěře. Obě tyto části byly pořízeny během jedné jízdy. V horní části se nachází porovnání výstupů funkce Gaze plot. V levé části má fixace označená číslem 20 celkovou délku 1463 milisekund, fixace s označením 29 pak má délku trvání 140 milisekund a fixace s indexem 28 má trvání 60 milisekund. Všechny tyto fixace byly směřovány k zvěři, na rozdíl od fixace s číslem 37 a délkou 180 milisekund zaměřenou na tachometr. V pravé části, tedy bez spatření zvěře, se pak na tachometr zaměřuje fixace s označením 10 o celkovém trvání 761 milisekund. Fixace s označením 24 a 25 jsou pak namířeny na řadicí páku a jejich délka trvání je 180 a 200 milisekund. V prostřední části se

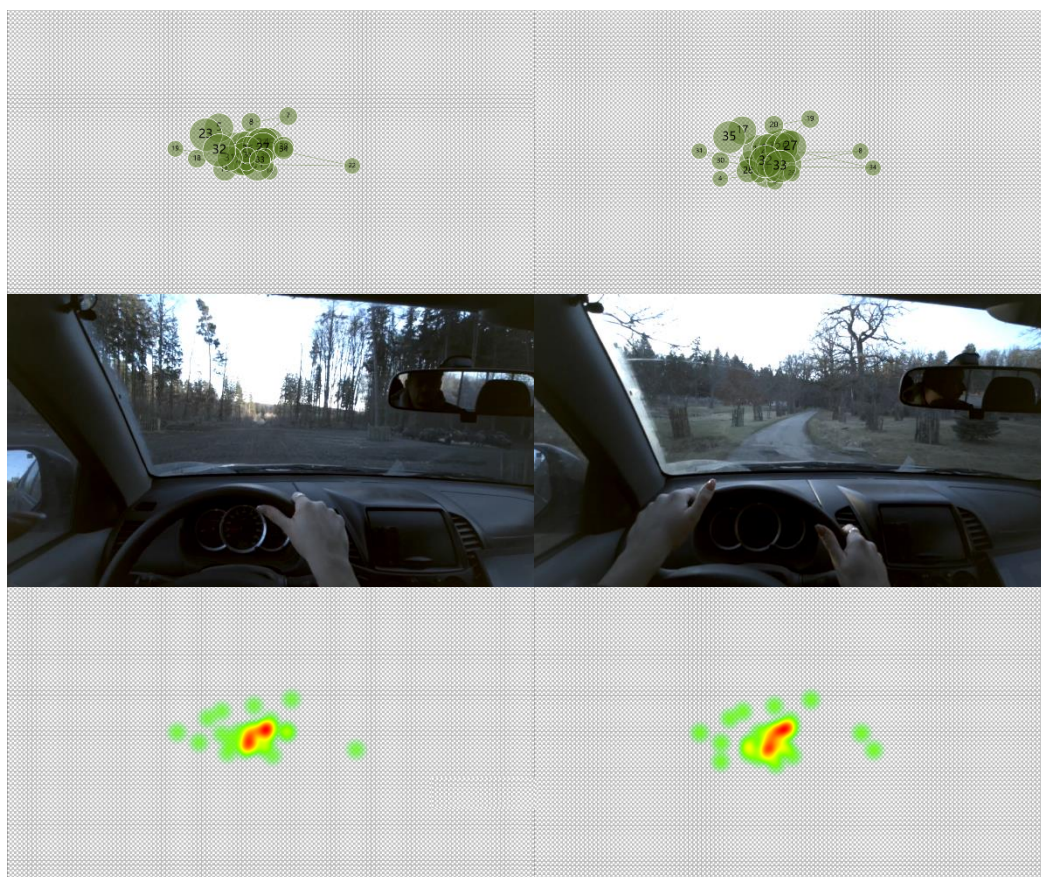
nachází ilustrační obrázky výhledu respondenta z automobilu v daném úseku. V dolní části se nachází porovnání Heat map. V levé části, tedy v části s jeleny, jsou fixace roztroušeny mírně doleva, tedy na místo, kde se nacházeli jeleni. V pravé části mají mírnou dostředivou tendenci. V obou případech respondent sleduje rychlost jízdy a v části bez zvíře dokonce i řadící páku.



Obrázek 30 Denní setkání s jeleny řidiče tři

Na obrázku číslo 31 je vyobrazeno porovnání dvou úseků trvajících 20 sekund pořízených v denních hodinách bez snížené viditelnosti. Levá část obrázku je věnována výstupům z úseku, kde se respondent setkal s divokými prasaty. Pravá část byla pořízena během stejné jízdy a jedná se o stejně dlouhý časový záznam pořízený v úseku, kde nebyla zaznamenána žádná zvíře. Horní část obrázku vyobrazuje výstupy dat z použité funkce Gaze plot. V levé části, tedy v části s prasaty, má referenční fixace označená číslem 22 délku 140 milisekund. Tato fixace byla směřována na divoká prasata. V pravé části nese referenční fixace označení 34 a její celková délka je 140 milisekund. Prostřední část obrázku je věnována znázornění pohledu řidiče v měřeném úseku, v levé části se zachycenými divokými prasaty. Spodní část obrázku je věnována Heat mapám. Při porovnání těchto úseků

není znatelný téměř žádný zásadní rozdíl. Nezkušený řidič v roli respondenta se soustředí na jízdu a ovládání vozidla a pokud není zvěří přímo ohrožován, nevěnuje jí příliš pozornosti.



Obrázek 31 Denní setkání s prasaty řidiče tři

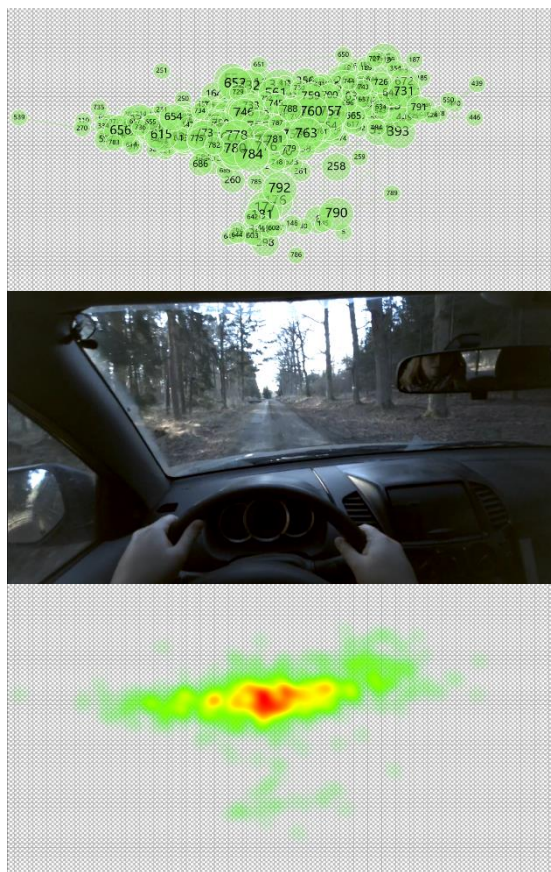
6.4 Porovnání řidičů

V následující části budou porovnání jednotliví řidiči v celých úsecích jejich jízdy.

6.4.1 Řidič číslo jedna

Na obrázku číslo 32 je vyobrazena denní jízda řidiče jedna v jednotlivých sekcích trvající 5 minut a 49 sekund. Horní část obrázku je věnována výstupu funkce Gaze plot, která ukazuje fixace s číselným označením v pořadí, v jakém byly ukládány. Referenční fixace nese označení 792 a její délka je 1332 milisekund. Druhou referenční fixací je fixace označená číslem 539 s délkou trvání 80 milisekund. Prostřední část obrázku je ilustrační obrázek výhledu řidiče z kabiny automobilu pořízený během jízdy. Spodní část obrázku je věnována Heat mapě, na které je vidět poměrně horizontálně rozlehlé centrum fixací.

To může být zapříčiněno faktem, že řidič číslo jedna byl shledán jako pokročilý řidič s výhodou znalosti místních cest.

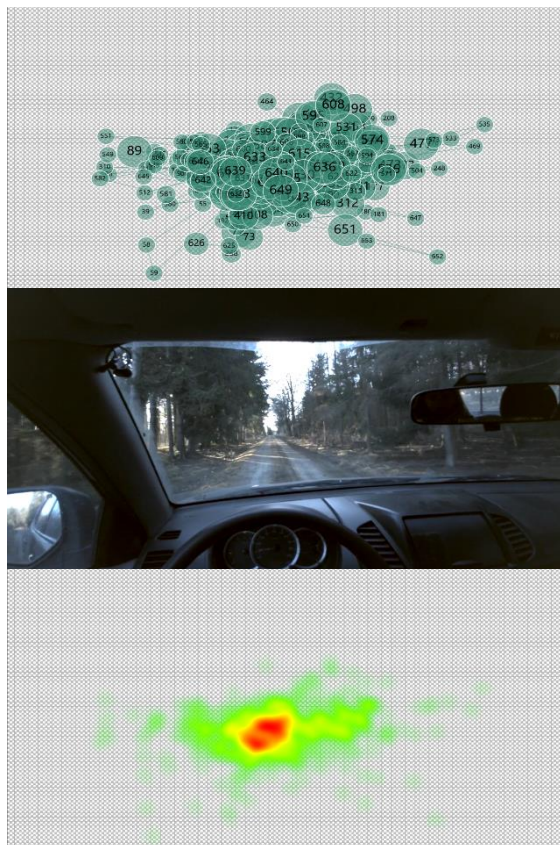


Obrázek 32 Denní celá jízda řidiče jedna

6.4.2 Řidič číslo dvě

Na obrázku číslo 33 je znázorněn výstup hodnot z programu Tobii Pro Lab z celého okruhu uskutečněným v denních hodinách za nesnížené viditelnosti řidičem číslo dvě. Celá jízda měla délku trvání 6 minut a 26 vteřin. Na horní části obrázku je znázorněn výstup z funkce Gaze plot. Referenčními body jsou fixace s označením 651 s délkou trvání 541 milisekund a fixace s označením 652 s délkou 60 milisekund. Prostřední část obrázku je věnována ilustračnímu obrázku výhledu řidiče z vozidla během uskutečněné jízdy. Spodní část obrázku představuje Heat mapu s centrem fixací mající tendenci se rozpínat horizontálním směrem. V porovnání s řidičem číslo jedna je horizontální rozpínání

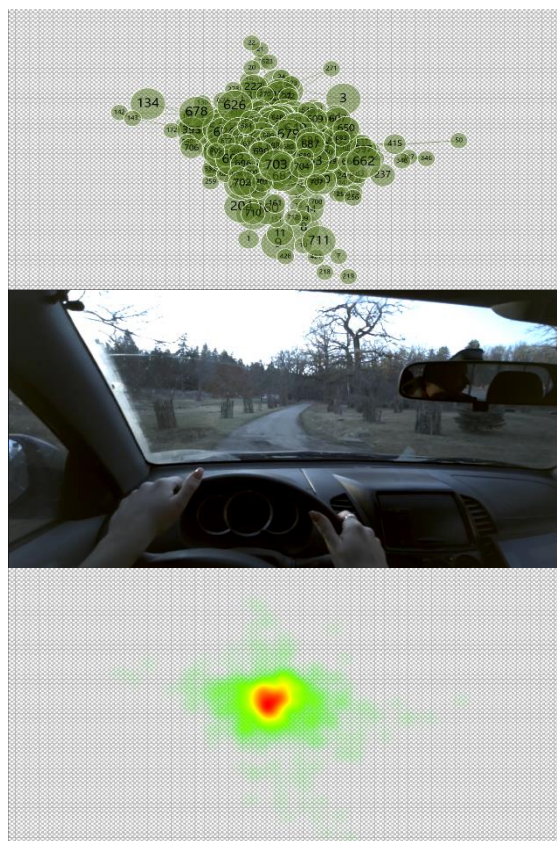
méně znatelné i přestože byl řidič číslo dvě sledán jako zkušený. Příčinou je pravděpodobně neznalost místních silnic.



Obrázek 33 Denní celá jízda řidiče dva

6.4.3 Řidič číslo tři

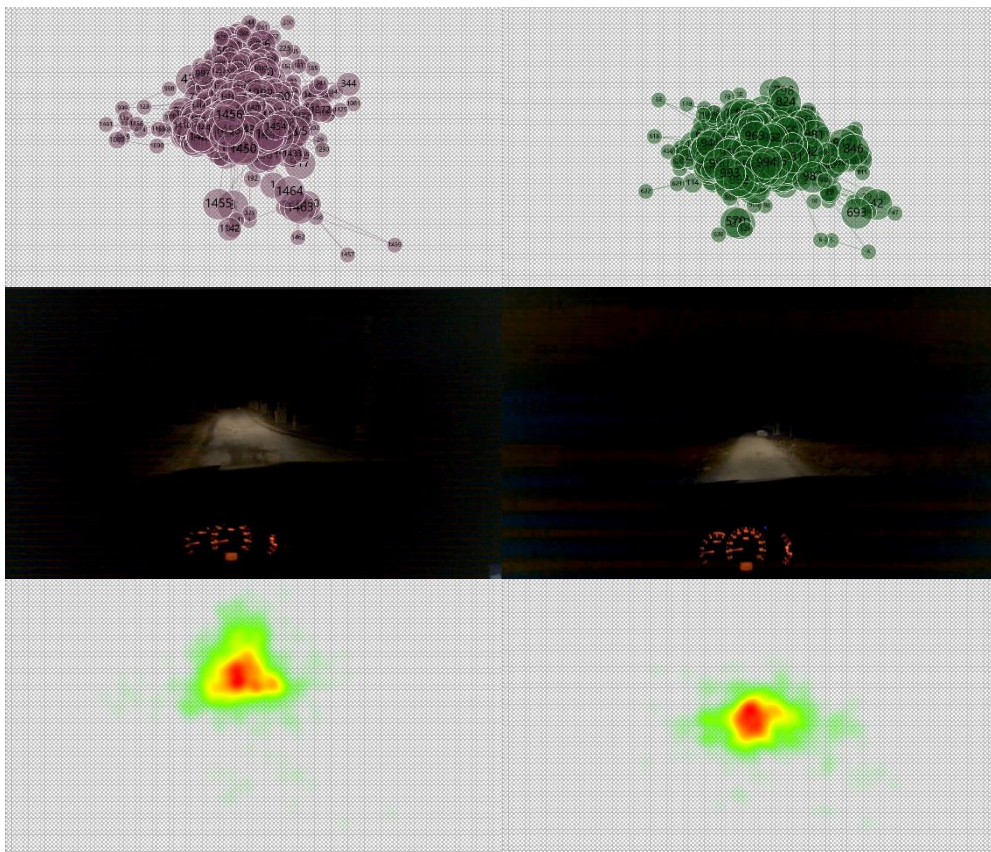
Na obrázku číslo 34 se nachází výstupy pořízené během denní doby bez snížené viditelnosti řidičem číslo tři. Tyto výstupy byly pořízené během jednoho okruhu trvajícím 6 minut a 41 sekund. V horní části obrázku je znázorněn výstup funkce Gaze plot. Referenční fixací je fixace číslo 219 s celkovou délkou 200 milisekund. Prostřední část obrázku je věnována ilustračnímu výhledu řidiče během provádění experimentu. Ve spodní části se nachází výstup Heat mapy. Na první pohled je patrné, že centrum fixací má velkou dostředivou tendenci, v porovnání s řidičem jedna a řidičem dvě. Tento fakt je nejspíš zapříčiněn kombinací toho, že řidič číslo tři byl sledován nezkušeným v kombinaci s neznalostí místních silnic.



Obrázek 34 Denní celá jízda řidiče tři

6.4.4 Porovnání řidiče jedna a dvě za snížené viditelnosti

V následující části budou porovnány jízdy za snížené viditelnosti. Na obrázku číslo 35 je porovnání celého nočního okruhu řidiče číslo jedna na levé části a celého nočního okruhu řidiče číslo dva na straně pravé. Levá část vychází z okruhu trvajícího 10 minut a 40 sekund, pravá část vychází z téhož okruhu, ale s délkou trvání 11 minut a 22 sekund. Obě jízdy byly uskutečněny během nočních hodin za snížené viditelnosti. V horní části jsou porovnávány výstupy z funkce Gaze plot. V levé části je referenční fixace označena číslem 1455 a její délka trvání je 1182 milisekund. V pravé části je pak referenční fixace označena číslem 693 s délkou trvání 1122 milisekund. V prostřední části se nachází ilustrační zobrazení výhledu obou řidičů během jejich měření. Spodní část obrázku je věnována Heat mapám. Obě mapy mají velmi výrazné fixace do jednoho centra a jen velmi malý rozptyl v porovnání s jízdami provedenými ve dne. Jedním z nepatrných rozdílů mezi řidiči je mírně větší vertikální rozptyl, který může být způsoben vyšší znalostí místních silnic.



Obrázek 35 Noční poronání řidiče jedna a dvě

7. Závěr

Snahou této diplomové práce bylo rozšířit a doplnit znalosti v oblasti aktivních systémů a prvků bezpečnosti, které jsou moderním trendem v souvislosti se střetem se zvěří a její vnímání. V praxi jsou využívány hlavně systémy nočního vidění na aktivní bázi nebo systémy využívající termokamery jejichž výhody a principy používání jsou podrobně rozebrány v této práci.

S neuvěřitelně rychlým vývojem v automobilovém, vojenském a loveckém sektoru se i tyto systémy neuvěřitelně rychle zdokonalují a stávají se cenově dostupnějšími. Věřím, že to nebude dlouho trvat a tyto systémy nebudou otázkou pouze nadstandartního vybavení některých automobilů, ale základním vybavením téměř každého automobilu, neboť jejich přínos pro bezpečnost je značný a konkurence v tomto průmyslu je veliká.

Z pohledu vnímání zvěře bylo využito metody eye-trackingu, která byla v této práci také podrobně rozebrána. Tato metoda je v dnešní době využívána především pro marketingové účely a zdokonalení reklamy či rozmístění zásadních informací. Z pohledu experimentálního měření měla však nedocenitelný přínos.

Poslední praktická část práce se věnovala měření. Měření probíhalo v různých světelných podmínkách a s různými respondenty. Výstupem z eye-trackingových dat pak bylo zjištění, že vnímání zvěře je závislé nejen na zkušenostech řidiče a na tom, zda je obeznámen s místními cestami, ale také na světelných podmínkách.

8. Seznam použitých zdrojů

- [1] David MARČEV.: průběžně aktualizované přednášky Aktivní a pasivní bezpečnost vozidel, Moodle TF ČZU v Praze, <http://moodle.tf.czu.cz> (11. 12. 2020)
- [2] F. M. Jakobs, J. Frischmuth, U. Kreutzmann, A. Werner, Flying with Night Vision Devices, [online], [pub. 01. 12. 2016], [cit. 11. 02. 2020], Dostupné z: <https://military-medicine.com/article/3185-flying-with-night-vision-devices.html>
- [3] Tým Bushnell [online], [pub. 20. 10. 2019], Dostupné z: <https://www.bushnell.com/through-the-lens/bu-blog-blog-how-does-night-vision-work-the-science-behind-it.html>
- [4] JURYKO [online], Dostupné z: <https://idalekohledy.cz/system-pro-nocni-videni>
- [5] Khan Academy [online], Dostupné z: <https://cs.khanacademy.org/science/obecnachemie/xefd2aace53b0e2de:atomy-a-jejich-vlastnosti/xefd2aace53b0e2de:fotoelektronovasppektroskopie/a/light-and-the-electromagnetic-spectrum>
- [6] Jan Majurník [online], [pub. 4. 2. 2021], Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/co-je-automobilove-nocni-videni-a-jak-funguje-21005465>
- [7] Centrum dopravního výzkumu [online], [pub. 26. 8. 2019], Dostupné z: <https://www.cdv.cz/tisk/pocet-srazek-se-zveri-se-za-5-let-temer-zdvojnasil/>
- [8] Epuskohled [online], Dostupné z: <https://www.epuskohled.cz/princip-nocniho-videni>
- [9] Admin e-myslivost.cz [online], Dostupné z: <https://www.e-myslivost.cz/cs/nocni-videni-pristroj-pro-zesilovani-zbytkoveho-svetla.html>
- [10] Admin e-myslivost.cz, Termovize, Termokamera, Infračervená kamera – přístroj pro detekci tepla, [online], Dostupné z: <https://www.e-myslivost.cz/cs/termovize-termokamera-infracervenakamera-pristroj-pro-detekci-tepla.html>
- [11] Infoto [online], Dostupné z: <https://www.infoto.cz/poradna/co-je-to-termovize/>
- [12] Centrum dopravního výzkumu v.v.i., Rozptýlení pozornosti řidiče, [online], [pub. 7. 3. 2007], Dostupné z: <https://www.czrso.cz/clanek/rozptyleni-pozornosti-ridice/?id=1301>
- [13] Mgr. Stanislav Popelka, Ph.D., Eye-tracking (nejen) v kognitivní kartografii Praktický průvodce tvorbou a vyhodnocením experimentu, 2018, ISBN 978-80-244-5313-2
- [14] Průřez lidského oka, [online], Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Lidsk%C3%A9_oko#/media/Soubor:Schematic_diagram_of_the_human_eye_cs.svg

- [15] Elektrokulograf (EOG), [online], Dostupné z:
<https://www.medicaexpo.com/prod/cambridge-research-systems/product-89951-959838.html>
- [16] Videokulograf, [online], Dostupné z:
http://www.upwardstek.cn/templates/T_contents/index.aspx?nodeid=25&page=ContentPage&contentid=799
- [17] Výrobce eye-trackingových brýlí Tobii, [online], Dostupné z:
<https://www.tobiiipro.com/product-listing/tobii-pro-glasses-3/>
- [18] Kalibrační karta, [online], Dostupné z:
<https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5b285e95a&appId=PPGMS>
- [19] Mapa Obory Sedlice, [online], Dostupné z:
<https://mapy.cz/zakladni?x=13.9917903&y=49.3667863&z=14&source=base&id=217787>

4

9. Seznam obrázků

Obrázek 1 Graf vývoje počtu nehod	2
Obrázek 2 Viditelné spektrum	6
Obrázek 3 Princip optoelektronického vylepšení obrazu	8
Obrázek 4 Porovnání generací nočních vidění	9
Obrázek 5 Systém termovize	12
Obrázek 6 Zobrazení aktivním systémem	14
Obrázek 7 Zobrazení pasivním systémem	15
Obrázek 8 Struktura lidského oka	17
Obrázek 9 Mikropohyby oka	19
Obrázek 10 Sakády a fixace	20
Obrázek 11 Purkyňovy obrázky	21
Obrázek 12 Buswellovo eye-trackingové zařízení (vlevo) s jeho výstupy (vpravo)	22
Obrázek 13 Elektro-okulograf (EOG)	24
Obrázek 14 Kontaktní čočka s drátěnou cívkou	25
Obrázek 15 Videookulograf	26
Obrázek 16 Dual purkinje Image tracker (nahore) fixace hlavy v něm (dole)	27
Obrázek 17 Mobilní eye-trackery od společností SR research (vpravo), Ergoneers (uprostřed) a Tobii (vpravo)	27
Obrázek 18 Tobii Pro 3 eye-trackingové brýle	28
Obrázek 19 Nahrávací jednotka eye-trackingových brýlí	29
Obrázek 20 Kalibrační karta	30
Obrázek 21 Mapa Obory Sedlice	32
Obrázek 22 Denní střet s prasaty řidiče jedna	34
Obrázek 23 Podvečerní střet s prasaty řidiče jedna	35
Obrázek 24 Noční střet s liškou řidiče číslo jedna	36
Obrázek 25 Noční setkání s divokým prasetem řidiče jedna	37
Obrázek 26 Denní setkání se srnci řidiče dva	38
Obrázek 27 Denní setkání s prasaty řidiče dva	39
Obrázek 28 Noční setkání s daňčí zvěří řidiče dva	40
Obrázek 29 Noční setkání s prasaty řidiče dva	41
Obrázek 30 Denní setkání s jeleny řidiče tři	42
Obrázek 31 Denní setkání s prasaty řidiče tři	43
Obrázek 32 Denní celá jízda řidiče jedna	44
Obrázek 33 Denní celá jízda řidiče dva	45
Obrázek 34 Denní celá jízda řidiče tři	46
Obrázek 35 Noční poronání řidiče jedna a dvě	47