

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra vozidel a pozemní dopravy**



**Diplomová práce**

**Pozornost řidiče za ztížených světelných podmínek**

**Jan Tomašov**

© 2023 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Autor práce:	Bc. Jan Tomašov
Studijní program:	Technika a technologie v dopravě a spojích
Obor:	Silniční a městská automobilová doprava
Vedoucí práce:	Ing. Veronika Hartová, Ph.D.
Garantující pracoviště:	Katedra vozidel a pozemní dopravy
Jazyk práce:	Čeština
Název práce:	<b>Pozornost řidiče za ztížených světelných podmínek</b>
Název anglicky:	<b>The driver's attention in difficult lighting conditions</b>
Cíle práce:	Diplomová práce je tématicky zaměřena na analýzu pozornosti řidiče za snížených světelných podmínek a dále na systémy bezpečnosti vozidel, pomocí kterých lze tyto podmínky zlepšit. Cílem práce bude popsat dané systémy a analyzovat pomocí systému pro sledování pohybu očních zornic pozornost řidiče za ztížených světelných podmínek.
Metodika:	Metodika řešení problematiky diplomové práce je založena na studiu a analýzách odborných informačních zdrojů. Budou provedena měření zaměřená na oční aktivitu a pozornost řidiče v souvislosti s pohybujícími se objekty podél silnic a přímo na silnicích za různých světelných podmínek. Na základě rozboru teoretické a praktické části práce budou formulovány závěry.  <ol style="list-style-type: none"><li>1. Úvod</li><li>2. Cíl práce</li><li>3. Metodika práce</li><li>4. Přehled řešené problematiky</li><li>5. Praktická část práce</li><li>6. Výsledky a diskuze</li><li>7. Závěr</li><li>8. Seznam použitých zdrojů</li><li>9. Přílohy</li></ol>
Doporučený rozsah práce:	50 - 60 str. včetně obrázků, tabulek a grafů
Klíčová slova:	oční aktivita, tma, šero, zvěř, pozornost, nebezpečí nehody
Doporučené zdroje informací:	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Duchowski, T., A. -Eye Tracking Methodology, Theory and Practice. Springer Cham, 2017. ISBN 978-3-319-57881-1</li><li>2. Holmqvist K., Andersson R. - Eye tracking: A comprehensive guide to methods, paradigms, and measures. Createspace Independent Publishing Platform, 2017. ISBN: 1979484899</li><li>3. Popelka, S. - EYE-TRACKING (NEJEN) V KOGNITIVNÍ KARTOGRAFII. Univerzita Palackého v Olomouci, 2018. ISBN 978-80- 244-5313-2</li><li>4. Popelka, S. - Hodnocení 3D vizualizací v GIS s využitím sledování pohybu očí. Univerzita Palackého v Olomouci, 2015. ISBN 978-80- 244-4803-9</li><li>5. SEIFFERT U., WECH L.: Automotive safety handbook. London, UK: Professional Engineering Pub., c2003. ISBN 076800912X.</li><li>6. 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 Vlk, 2006. ISBN 80-239-7062-3.</li></ol>
Předběžný termín obhajoby:	2022/2023 LS - TF

**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, zadržné systémy, osvětlení vozidla, komfortní systémy]. Brno: František Vlk, 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

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá sledováním pohybu očí pomocí eye trackeru při řešení střetu s divokou zvěří. V teoretické části se popisuje anatomie oka, druhy očních pohybů, přístroje spojené vnímáním světla a tepla a technologie aktivních a pasivních systémů. Dále objasňuje způsoby sledování pohybu očí se zaměřením na metody eye trackingu. V rámci praktické části byly vytvořeny dva programy a byl nahrán pohyb očí dobrovolníků. První program slouží pro záznam pohybu očí během sledování dopravní situace ve videu, druhý program bude ukazovat záznam z termokamery. Budou zkoumány parametry očních pohybů, které by mohly vést k rozdílnému vnímání řidičů dle jejich zkušeností. Na základě porovnání ze záznamu termokamery, se bude určovat reakční doba řidiče.

## **Abstract**

This thesis deals with eye movement tracking using an eye tracker in dealing with wildlife encounters. The theoretical part describes the anatomy of the eye, types of eye movements, devices related to light and heat perception, and the technology of active and passive systems. It also explains methods of tracking eye movements, focusing on eye tracking methods. In the practical part, two programs were created and the eye movements of the volunteers were recorded. The first program is used to record eye movement during traffic surveillance in a video, the second program will show footage from a thermal imaging camera. The parameters of eye movements that could lead to different perceptions of drivers according to their experience will be investigated. Based on the comparison from the thermal camera footage, the reaction time of the driver will be determined.

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci " Pozornost řidiče za ztížených světelných podmínek" 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 31.3.2023

---

## **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 katedry vozidel a pozemní dopravy Technické fakulty za zapůjčení technického vybavení a poskytnutí zázemí pro experimentální měření.

Poděkování patří i vedení Sedlické obory, za to, že zde mohlo probíhat měření a v poslední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za podporu za celou dobu svého studia.

# Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce .....	2
3	Metodika práce.....	3
4	Přehled řešené problematiky .....	4
4.1	Eye Tracking .....	4
4.1.1	Historie metody.....	4
4.1.2	Princip Eye Tracking metody .....	6
4.1.3	Techniky sledování oka .....	7
4.1.3.1	Elektro-OculoGraphy (EOG).....	8
4.1.3.2	Scleral contact lens (kontaktní čočky) .....	9
4.1.3.3	Photo-OculoGraphy (POG) a Video-OculoGraphy (VOG) .....	10
4.1.3.4	Pupil and Corneal Reflexion Tracking.....	12
4.2	Charakteristika lidského oka .....	12
4.2.1	Fyziologie oka.....	15
4.2.2	Základní atributy očních pohybů .....	16
4.2.3	Důvěra ve zrak a ovlivnění člověka.....	18
4.3	Noktovizor.....	19
4.4.	Termovize .....	20
4.3.1	Historie termovize.....	20
4.3.2	Princip termovize .....	20
4.3.3	Termokamera .....	23
4.3.3.1	Základní parametry Termokamer .....	23
4.3.3.2	Typy a konstrukce Termokamer .....	28
4.3.4	Využití Eye-trackingu v dopravě .....	32
4.3.5	Použití technologie nočního vidění v dopravě.....	33
4.3.5.1	Aktivní systémy.....	33
4.3.5.2	Pasivní systémy.....	34
4.3.5.3	Používání ve vozidlech.....	35
5	Praktická část .....	36
5.1	Eye-Trackingové brýle Tobii Pro 3.....	36

5.2	Nahrávací jednotka.....	37
5.3	Kalibrační karta .....	38
5.4	Termokamera.....	39
5.5	Telefon.....	40
5.6	Automobil Ford Ranger.....	40
5.7	Lokalita měření a respondenti .....	41
5.8	Metodika měření.....	43
5.9	Zpracování výsledků .....	44
6	Výsledky a diskuse.....	45
6.1	Řidič číslo jedna .....	45
6.2	Řidič číslo dva .....	50
6.3	Řidič číslo tři .....	53
7	Závěr .....	58
8	Seznam použitých zdrojů .....	59
9	Seznam obrázků .....	63
10	Seznam tabulek .....	65



# 1 Úvod

Nejpoužívanějším dopravním prostředkem v současné době je automobil. Tedy není divu, že se klade velký důraz na bezpečnost při cestování v něm. V dnešní době každá automobilka zavádí do svých vozidel systémy s aktivní a pasivní bezpečností a jejich vývoj se neustále zdokonaluje.

Jedním z témat, kterému je v poslední době věnována největší pozornost a které se nejrychleji rozvíjí, je bezesporu rozpoznávání obrazu. V této oblasti jsou prakticky denně zaváděny nové techniky a technologie, které nám zjednodušují práci a celkově zlepšují život. Příkladem jsou vznikající autonomní vozidla, která využívají systém senzorů a kamer k vlastnímu řízení a mají nás co nejbezpečněji dopravit tam, kam potřebujeme. Dalším příkladem jsou rozsáhlé neuronové sítě, které dokážou analyzovat příchozí snímky a identifikovat objekty, osoby, a dokonce vysvětlit děje, které se na snímku odehrávají. Závěrem lze říct, že na tématu rozpoznávání obrazu nyní pracuje mnoho lidí, a vzhledem k tomu, jak rychle se všechny technologie vyvíjejí, můžeme v blízké budoucnosti očekávat objevy, které změní pravidla hry a pomohou lidstvu.

Termokamery jsou další zajímavou oblastí, která se v poslední době začala rozvíjet a otevírat široké veřejnosti. Pomáhají nám při záchraně osob, v průmyslu (například při pozorování potenciálně nebezpečných látek), a dokonce i při běžných úkonech, jako je identifikace problémů s tepelnou izolací našich domů.

## 2 Cíl práce

Cílem této diplomové práce je teoreticky analyzovat zvolené bezpečnostní systémy ve vozidle, které pomáhají za zhoršených světelných podmínek. Pro tuto práci byla jako pozorovací prvek zvolena divoká zvěř, protože střet vozidla se zvěří je často poměrně fatální. Dále bude probíhat analýza teoretického vnímání řidiče pomocí metody eye tracking. Praktická část se bude odvíjet od předchozích teoretických znalostí. V praktické části se budou používat eye track brýle pro záznam výsledků srážky řidiče se zvěří s následným zpracováním a vyhodnocením dat.

Cílem této práce je teoreticky definovat několik zařízení, která mohou pomoci při ochraně řidiče v případě střetu se zvěří. Pomocí techniky eye tracking je také možné hypoteticky zpracovat vnímání řidiče. Na tomto teoretickém základě se pak bude odvíjet praktická část. Reakční doba řidiče v situacích se sníženou viditelností před potenciální srážkou se zvěří se bude zaznamenávat pomocí brýlí eye tracking a současně bude spuštěn záznam termokamery a následně bude probíhat porovnání těchto dat.

### 3 Metodika práce

Na základě rozboru literatury budou v reálném provozu (nebo na simulátoru) zkoumány hlavní problémy, kterým se řidiči při jízdě za zhoršených dopravních podmínek vystavují. Na základě těchto údajů budou vytvořeny a testovány dílčí technologie, které řidiči co nejvíce pomohou čelit účinkům těchto nepříznivých provozních podmínek. Zohledněny budou například technologie, jako jsou termokamery a kamery pro noční vidění, které jsou již přítomny ve špičkových automobilech.

#### Praktická část

Chování řidičů bude sledováno v situacích se zhoršenou viditelností. Shromážděné údaje budou využity k určení hlavních problémů, kterým řidiči v takových situacích čelí. Chování řidičů bude zaznamenáno pomocí současných moderních technologií, jako jsou eye tracking brýle pro sledování očí, kamery nebo prostřednictvím údajů ze senzorů automobilu.

Účastníci výzkumného měření budou jezdit jeden za druhým po přesně určené trase. Měření budou prováděna, jak v oboře, tak i ve volném provozu. Měření začne spuštěním eye tracking brýlí a termokamery současně. Dále budou doplněny informacemi o jízdě (číslo jízdy, čas, datum, jméno řidiče). Během jízdy bude řidič bezprostředně hlásit všechnu divokou zvěř, kterou spatří. Po nahlášení pozorované zvěře bude zaznamenán čas pozorování s doplňujícími informacemi. Na závěr provedeného měření bude pro lepší zpracování výsledků nahlášen čas setkání. Tento postup se bude opakovat u všech účastníků výzkumného měření.

## **4 Přehled řešené problematiky**

Tato část diplomové práce se zabývá teoretickým rozbořem vybraných bezpečnostním systémům a zpracováním teoretických východisek pro zpracování praktické části.

### **4.1 Eye tracking**

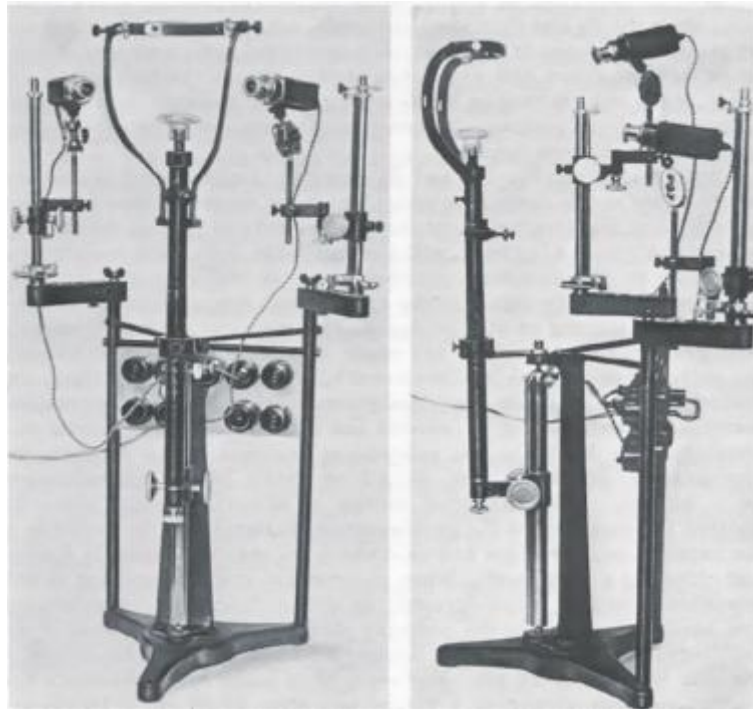
Eye tracking je metoda, která pomáhá výzkumným pracovníkům s pochopením vizuálního vnímání respondentů. S jeho pomocí lze určit, kam se uživatel v určitou chvíli zaměřuje svoji pozornost, jak dlouho danou oblast pozoruje a také lze sledovat cestu očních pohybů – odkud kam vede jeho zájem sledování. Metoda se využívá především v marketingu, kognitivní psychologii a oblastech věnující se oboru HCI (Human-Computer Interaction). Pomáhá vědeckým pracovníkům pochopit uživatelský prožitek respondentů, protože většina uživatelů ho není schopna v takové míře popsat. Následující kapitoly představí tuto metodu detailněji, její historii, principy a možnosti využití.

[1]

#### **4.1.1 Historie metody**

Tato metoda se poprvé objevila s rozvojem techniky v 19. století, který vedl k rozvoji studia techniky čtení. Nejdříve se metoda používala jen k výzkumu způsobu čtení a později se rozšířila k učení efektivnosti čtení. Postupem času toho uměli využít marketingový specialisti pro svůj osobní úspěch, a tak se eye tracking se stal trendem a hitem, který žije dodnes. [2].

V roce 1879 si Louis Emile Javal provedl výzkum, v kterém si všiml, že lidé nečtou plynule celou stránku, ale zastavují se na určitých slovech a nějaká naopak čtou daleko rychleji než jiná. Na základě tohoto zjištění Edmund Huey sestrojil přístroj, který je zobrazen na obrázku 1, lze ho zařadit jako první přístroj měřící oční pohyby na světě, díky využití stroje publikoval mnoho článků zabývajících se čtecí technikou. Nevýhoda tohoto zařízení byla, že přístroj měl poměrně velké rozměry a špatně se s ním manipulovalo. Uživatel, který byl vyšetřovaný měl na sobě speciální a těžké zařízení, které mu bránilo k ideálnímu výhledu. [3]



*1.Obrázek Původní přístroj k měření očních pohybů. Respondent při měření musel klidně sedět a nehýbat, zároveň nést váhu tohoto velkého přístroje. [1]*

Tomuto omezení měření se chtěl vyvarovat Charles H. Judd a vytvořil další přístroj pro metodu eye tracking, kdy se za pomoci filmu nahrávaly oční pohyby a posléze byly tyto pohyby detailně studovány. Na tomto zařízení lze sledovat trend a princip zařízení, který zčásti funguje i dnes. [3]

Dalším milníkem pro eye tracking byl rok 1931, kdy Carl Taylor a James Earl vytvořili Metronoskop a Oftalmograf, zařízení, které sledovalo pohyby očí a zároveň učilo čtenáře efektivnímu čtení. Zároveň specifikovali dva termíny – hop (pohyb) a fixace, jenž se užívají i v dnešních eye tracking výzkumech. [3].

Vytvořená studie byla velmi odborná, specifická, ale i drahá a nepoužitelná ke komerčním účelům. To se stalo důvodem, proč začal Paul Fitts ve čtyřicátých letech dvacátého století pracovat s nahráváním pohybů očí, které bylo tak finančně dostupnější. Levnější metoda eye trackingu byla použita za 2. světové války, během studia očních pohybů pilotů při přistávání. Postupně se metoda začala používat v dalších odvětvích bojů ve druhé světové válce. [1]

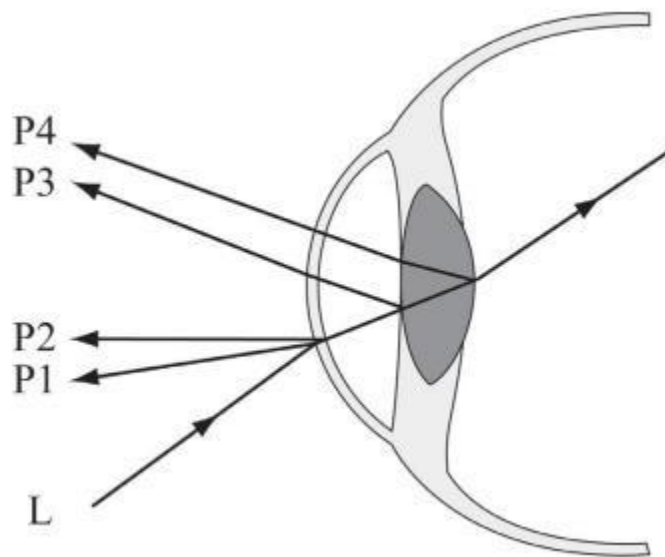
Významným průkopníkem zkoumání očních pohybů se stal v roce 1990 systém, který použil analytik Joe Theismann. Jeho analýza byla založena na sledování fotbalových fanoušků. Konkrétně pozoroval, na co se diváci nejvíce při hře zaměřují a kdy naopak zrakem od hry odbíhají. [3]

Následně v druhé polovině 90. let se marketingová agentura EURO RSCG rozhodla využívat metodu eye tracking pro analýzu využití reklam v prostředí webových stránek. A zde, spolu s počátkem vzniku webu, jaký známe dnes, se začala rozvíjet oblast web design. [3]

### **4.1.2 Princip eye tracking metody**

Přítomnost osoby lze zjistit pomocí senzorové technologie známé jako eye tracking, která dokáže v reálném čase sledovat i její pohled. Pohyby očí jsou touto technologií převedeny na datový tok, který obsahuje podrobnosti, jako je poloha zornic, vektory pohledu pro každé oko a bod pohledu. Technologie v podstatě dekoduje pohyby očí a převádí je na poznatky, které lze využít jako další vstupní modalitu nebo v různých aplikacích.

Hlavním cílem metody je sledovat pohyby očí respondenta s využitím principu oko-mysl, který ukazuje, jak mozek přirozeně zpracovává informace po vystavení určitému podnětu. Většina moderních systémů se opírá o Purkyňovy obrazy a princip rohovkového odrazu, jejich zobrazení je na obrázku 2. Purkyňovy obrázky jsou jev, který vzniká ve chvíli, kdy na oko dopadá zdroj světla. Jsou celkem 4: přední plocha rohovky, zadní plocha rohovky, přední plocha čočky a zadní plocha čočky. V oku tak vznikají čtyři odrazy



2.Obrázek Purkyňovy obrázky [4]

Pro metodu eye trackingu jsou nejvíce důležité dva termíny z hlediska fyziologie oka. Jedná se o rohovku a zornici. Zornice představuje centrální část oka a reaguje na světlo zúžením nebo rozšířením. Je centrálně umístěna, a proto je nejvíce důležitá pro potřeby měření metodou eye tracking, kde se snímají její pohyby. Zornice je chráněna před vnějším okolím rohovkou, ta při libovolném světelném zdroji vytváří odraz, který se nazývá Purkyňovým obrázkem. [5]

### 4.1.3 Techniky sledování oka

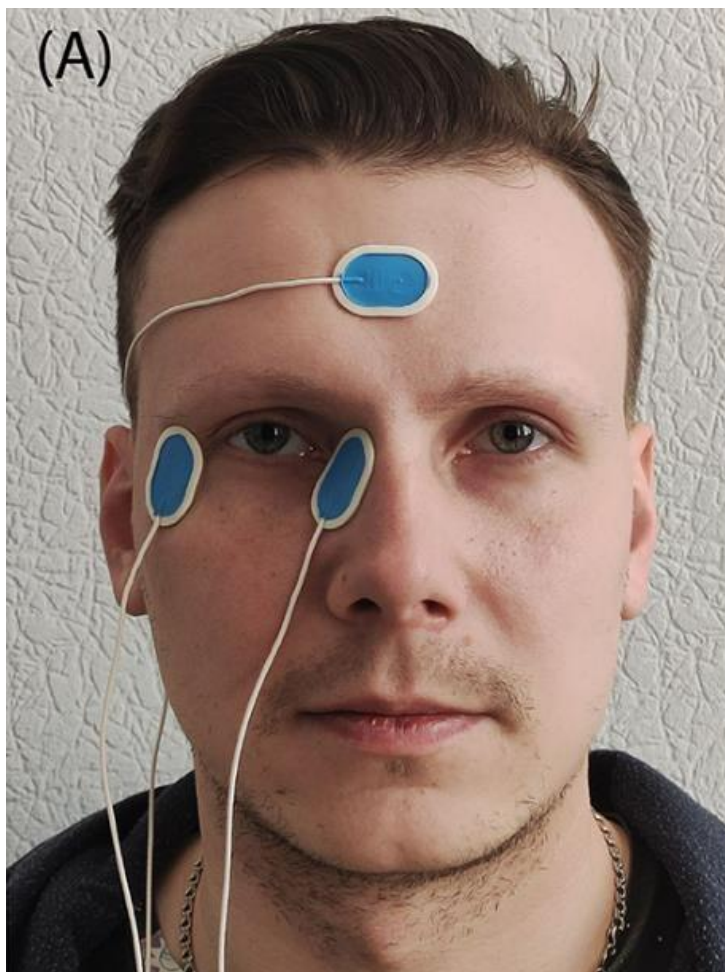
Nejobecnější rozdělení technik sledování očí je podle metody měření polohy očí. V takovém případě existují pouze dvě metody, z nichž první se zaměřuje polohu oka vzhledem k hlavě a druhý posuzuje orientaci oka v prostoru.

Existují další čtyři techniky rozdělení sledování očních pohybů:

- Elektro-OculoGraphy (EOG),
- Scleral contact lens (kontaktní čočky),
- Photo-OculoGraphy (POG) a Video-OculoGraphy (VOG),
- Pupil and Corneal Reflexion Tracking. [4]

### 4.1.3.1 Elektro-OculoGraphy (EOG)

Základním principem pro elektrookulografii je měření elektrického odporu kůže. Pro zjištění rozdílů elektrického odporu se využívá připevněných elektrod kolem očí. Pomocí zaznamenávání poměrně malých rozdílů odporu kůže se dopočítávají pohyby očí. Zásadní výhodou této techniky je možnost pozorovat polohu očí i při zavření očních víček. Tato metoda je velice používána pro klinické studie zaměřené na oční pohyby během spánku. Podstata měření spočívá, v jaké poloze jsou oči vůči hlavě, proto se musí registrovat poloha hlavy, aby se zjistil směr pohybu očí. Obrázek 3 ukazuje metodu Electro OculoGraphy při měření očních pohybů. Jedná se nejméně přesnou metodu z výše uvedených technik. [4]



3.Obrázek Elektro-okulograf (EOG) [6]



### 4.1.3.2 Scleral contact lens (kontaktní čočky)

Pomocí umístění kontaktní čočky přímo na oku, jak je zobrazeno na obrázku 4, se jedná o metodu, jenž se řadí mezi nejpřesnější. Využívá mechanického nebo optického referenčního objektu, který je namontovaný na kontaktní čočku. Při prvním používání této metody se využívali sádrové misky, které byly propojeny za pomoci drátu se zapisovacím zařízením. Postupem vývoje metody se začaly používat moderní kontaktní čočky umístěné přímo na rohovce a bělimě. Do moderní čočky, která byla upravena a vyvinuta tak, aby indukovala tři na sebe kolmé zdroje magnetického pole, pomocí vložením drátěné cívky nebo fosforu. Ačkoli je tato metoda velmi přesná, může být pro respondenta nepříjemná, protože vložení čočky do oka je náročné. Pro měření se také využívá poloha oka vzhledem k hlavě. [4]



4.Obrázek Kontaktní čočka s drátěnou cívkou [4]

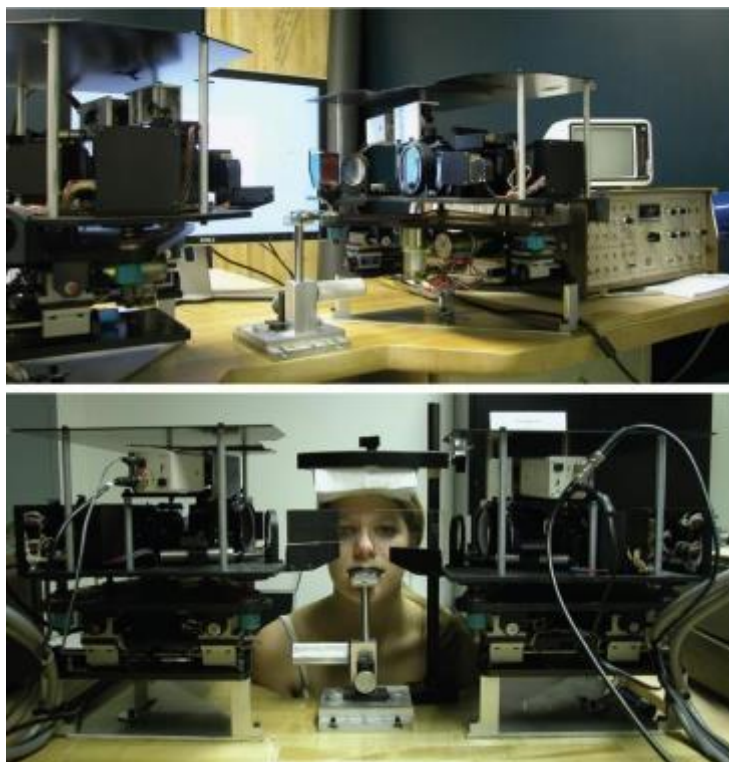
### 4.1.3.3 Photo-OculoGraphy a Video-OculoGraphy (VOG)

Pomocí fotokulografie nebo videookulografie lze zjistit rozlišitelný prvek oka, jako je tvar zornice, umístění bílého okraje rohovky nebo odraz světelného zdroje od rohovky. Při této metodě se používá videookulograf, jak je zobrazeno na obrázku 5. Tato metoda má potenciál pořizovat videozáznamy, které lze ručně upravovat. Frekvence vzorků videozařízení má významný vliv na to, jak pracné a náchylné k chybám to může být. U několika technik je třeba upevnit hlavu. Pomocí infračervených fotodiod lze automaticky vyrovnat polohu okraje rohovky a bílého místa, tzv. limbu. Hlavní výhodou sledování limbu je, že zůstává konstantní za všech světelných okolností, je však třeba mít na paměti, že oční víčka jej při mrkání často zakrývají. [4]



5.Obrázek Brýle při záznamu VOG [37]

Dvojitý Purkyňův obraz (DPI), zobrazený na obrázku 16 výše, poskytuje vynikající výsledky z hlediska prostorové přesnosti a frekvence. Tato technika je založena na myšlence měření dvou Purkyňových obrazů neboli odrazů světelného paprsku od čočky a rohovky pomocí soustavy zrcadel a optických serv. Aby bylo možné tuto techniku použít, musí být hlava pevně fixována, jak je znázorněno na obrázku 6 níže. [4]



6.Obrázek Dual purkinje Image tracker (nahore) fixace hlavy v něm (dole) [4]

#### 4.1.3.4 Pupil and Corneal Reflexion Tracking

Princip se týká detekce středu zornice na základě odrazu přímého paprsku infračerveného světla od rohovky. Jak již bylo uvedeno, existují celkem 4 Purkyňovy obrazy. První Purkyňův obraz, který se nejčastěji používá k určení polohy pohledu, je také známý jako rohovkový obraz. Při rotaci očí se vztah mezi středem zornice a rohovkovým odrazem posouvá, ale při malých pohybech hlavy se zpravidla udržuje na stejné úrovni. Přístroj má jedno nebo více infračervených světel, která míří směrem k uživateli. Součástí přístroje je také kamera, která snímá oči respondenta. Ta využívá rozpoznávání obrazu k určení středu zornice a korneálního obrazu infračerveného světla. Na základě vzájemné polohy těchto dvou bodů přístroj určí směr pohledu. Obrázek číslo 7 znázorňuje příklady zpracování této technologie. [4]

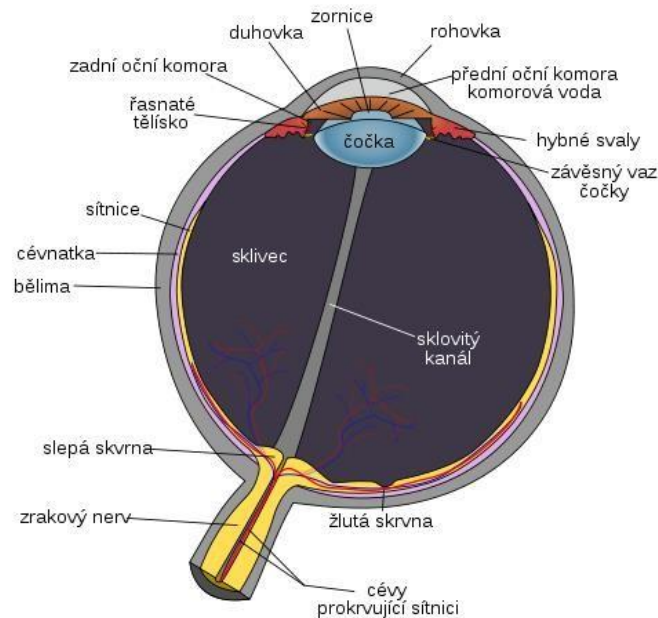


7.Obrázek Mobilní eye trackery od společnosti SR research (vpravo), Ergoneers (uprostřed) a Tobii (vpravo) [4]

## 4.2 Charakteristika lidského oka

Lidské oko je jedním z nejsilnějších a nejčastěji používaných smyslů. Protože rozsah lidského vidění je přibližně 200 stupňů na šířku a 130 stupňů na výšku, konstrukce oka byla upravena tak, aby světelné paprsky mohly procházet zornicemi a dopadat na sítnici. Světločivné buňky neboli tyčinky, které měří množství dopadajícího světla. Na sítnici se nacházejí čípky, jež provádějí celou řadu barevných vjemů. Tyto buňky umožňují přeměnu světla na elektrické impulsy. Tyto signály jsou pak přenášeny zrakovým nervem do mozku. [4]

Na obrázku číslo 8 je popis lidského oka. Jeho jednotlivé části budou popsány se spojitostí s Eey-Trakgingem. [4]



8.Obrázek *Struktura lidského oka* [7]

Termín **bělina** označuje bílou část vnějšího povrchu oka neboli oční bělmo, které se v přední části oka spojuje s rohovkou. Skládá se z pojivové tkáně, včetně kolagenových a elastických vláken, která tvoří jeho vnější vrstvu. S očním bělmem souvisí oční svaly, které chrání vnitřek oka.[8]

Průhledná, zakřivená část oka, která kryje duhovku a zornici, se nazývá **rohovka**. Je to útvar v přední části oka, který je "neviditelný". Vzhledem k tomu, že tvoří přibližně 2/3 celkové optické lomivosti oka, je klíčovou součástí našeho vidění. Umožňuje také vstup světla zornicí a jeho lom. Další klíčovou roli hraje vnitřní část ochrany oka. V poslední řadě má jedinečnou křivku, která se u jednotlivých lidí liší.[9]

Jednou z vrstev, které tvoří oční bulvu, je **cévnatka**. Je to typ vnitřní výstelky, která zásobuje krví a výživou všechny části oka. Má tři vrstvy a nachází se mezi bělmem a sítnicí. Na přední straně je spojena s řasnatým tělesem a na zadní straně s okrajem zrakového nervu. Cévnatka je silně pigmentovaná, což pohlcuje další světlo a brání mu proniknout dále do oka.[10]

Jednou z podpůrných struktur oční bulvy je **řasnaté těleso**. Nachází se mezi duhovkou a cévnatkou. Pomáhá oku produkovat komorovou tekutinu a podílí se na akomodaci, což je smršťování a zplošťování čočky. Zadní část řasnatého tělesa je plochá a neobsahuje pigmentové buňky, zatímco přední část je tvořena řasnatými výběžky a řasnatým svalem. Jemná vlákna vycházející z řasnatých výběžků slouží jako závěsný aparát čočky a zajišťují akomodaci spolu se stahováním řasnatého svalu. [11]

Přední a zadní oční komora jsou rozděleny oční **duhovkou**. Zornice neboli oční bulva se nachází uprostřed duhovky. Svaly duhovky, které reagují například na množství světla vstupujícího do oka, se stahují, aby ovlivnily velikost zornice. Nejdůležitější funkcí duhovky je chránit oko před oslněním. Barva lidského oka je také ovlivňována duhovkou. Vzhledem k její silné pigmentaci může být hnědá, šedá, modrá nebo zelená. To závisí na syntetizaci barviva melaninu. Stejně jako vlnitost duhovky je i barva geneticky daná. [12]

**Sítnice** je hustě inervovaná vrstva uvnitř oka, v níž se nacházejí buňky vyzařující světlo. Tyčinky a čípky jsou dvě kategorie fotoreceptorů, jejichž podráždění vyvolává vidění. Než se světlo dostane k fotoreceptorům, musí projít mnoha vrstvami sítnice. Tyčinky slouží k vidění za soumraku a v noci, protože dokáží rozlišit pouze světlo a tmou. Čípky zajišťují vnímání světla a barev.[13]

Pokud se člověk dívá do dálky nebo na něco zblízka, **čočka**, což je struktura v oku za duhovkou, láme světlo tak, aby dopadalo na sítnici a vytvářelo ostrý obraz. Z tohoto důvodu čočka mění své zakřivení (tvar). Řasnaté těleso je spojeno s pružnou čočkou. Když se člověk dívá na blízký předmět, čočka se zakulatí a získá kulovitý tvar, protože vazy řasnatého tělesa se uvolní v důsledku napětí svalových vláken. Duhovka se zúží a přední oční komora se mírně zploští. Celkově se optická mohutnost čočky zvětší a její nositel vidí jasně na blízko. Při pohledu do dálky se čočka zplošťuje, protože vazy řasnatého tělesa čočku napínají. [14]

Ve vnitřní třetině oční koule (bulbu), pod čočkou a jejím závěsným mechanismem, se nachází průsvitná, čirá, bezbarvá, rosolovitá tekutina zvaná **sklivce**. Vytváří se pouze v embryonálním stadiu a její regenerace není možná. V případě její ztráty ji může nahradit pouze komorová tekutina, jinak je vyplněn prostor mezi oční čočkou a rohovkou. Hlavním úkolem sklivce je udržovat stálý tlak v oku a udržovat hladký povrch sítnice.[15]

Oblast oka, která se nachází mezi rohovkou a duhovkou a je vyplněna komorovou tekutinou, se nazývá **oční komora**. Protože rohovka a čočka jsou bezcévné, komorová tekutina v přední komoře oka jim dodává potřebné živiny a zároveň volně proudí. Schlemmův kanálek umožňuje extra komorové tekutině opustit přední oční komoru. Pokud je odtok komorové tekutiny narušen, tekutina se hromadí a zvyšuje nitrooční tlak, což může časem způsobit vznik zeleného zákalu. [16]

### 4.2.1 Fyziologie oka

Pro pochopení principu fungování eyetrackingu je nejprve potřeba představit filozofii oka a následně pochopit, na jaké bázi je postaven princip přístrojů.

Prvním pozorovatelem v oblasti sledování očních pohybů se stal v roce 1879 oftalmolog Louis Émile Javal, který prováděl experimenty sloužící k pochopení očních pohybů na pařížské univerzitě. Prokázal, že i když je zrak člověka zaměřen ve stabilní pozici na jeden předmět, zle pozorovat, že oko za neustálého pohybu pomáhá vytvořit komplexní obraz situace. Díky těmto jeho experimentům zle specifikovat 2 základní rozdělení očních pohybů a vidění na centrální a periferní vidění. Centrální vidění je součástí zorného pole, které registruje naše oko jako ostré objekty a pohyby, které jsou v ní k vidění. Takhle jasná představa ukazuje přibližně jen 8 % zorného pole. Periferní vidění tvoří zbytek zorného pole, pomáhá dokreslovat komplexní obraz zorného pole. Periferní vidění není jasné, rozostřené a není na něj mířena hlavní pozornost jedince, ale v kontextu centrálního vidění pomáhá smyslově zaznamenat konkrétní situace a dodává člověku pocit jistoty. Rayner připisuje podstatu perifernímu vidění důsledkem evoluce člověka, už od doby, kdy pravěcí lidé museli být neustále na pozoru před potenciálním nebezpečím a v koutku oka sledovat, zda na ně někdo nezaútočí. [1]

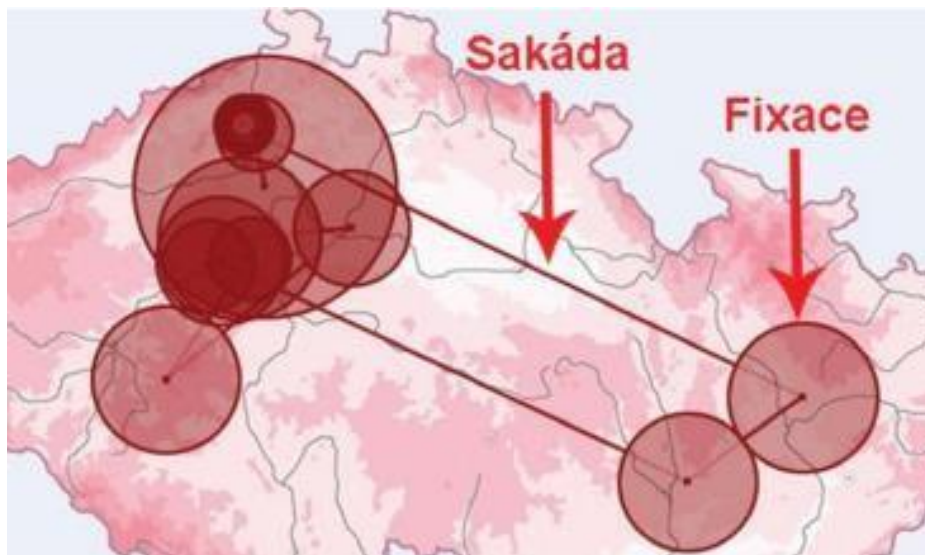
Výzkum eye tracking sice měří centrální vidění, ale podstata pouze částečného centrálního vidění může zaznamenané výsledky zkreslit. Nelze předpokládat, že uživatel nepozoroval periferním viděním, protože se nefixoval na jedno místo. [1]

## 4.2.2 Základní atributy očních pohybů

Pro charakterizaci konkrétních pohybů a jejich vlastností lze stanovit řadu atributů: fixace a sakády a dále ještě lokace, doba trvání a pohyb.

Fixace jsou pauzy v pohybu očí na určitém místě zorného pole. Jak se zobrazeno na obrázku 9, jedná se o místo, kde se oko nejprve zdrží, než se pohne dál. Fixace se vyskytují zejména v oblasti centrálního vidění. Vzhledem k tomu, že oko se neustále pohybuje, aby zaznamenalo vše, co se děje, jsou fixace ve srovnání se sakádami velmi vzácné.

Rychlé pohyby očí se nazývají sakády, jak znázorňuje obrázek 9. Tyto pohyby tvoří převážnou část očních pohybů. Svými rychlými změnami napomáhají dokreslit celou plochu v zorném poli diváka a poskytnout mu úplnou scénérii. Termín "scan-path" označuje rovnítko mezi fixacemi a sakádami. Jedná se o specifickou mapu, která ukazuje trasu sledování uživatele a pořadí, v jakém se dívá. [17]



9.Obrázek *Fixace a sakády* [4]



Body v zorném poli, kde jsou fixace ukotveny, se nazývají lokace. Jejich délka se obvykle pohybuje od 100 do 600 milisekund. Avšak navzdory tomu, že eye tracker může zaznamenat určité místo, nemusí to nutně znamenat, že si jej uživatel vybavil nebo rozpoznal mezi řadou jiných vjemů. [1]

Doba pozorování pomáhá pochopit význam jednotlivých bodů a upozorňuje na konkrétní vizuální vjem. Díky této funkci hraje vnímání a chápání konkrétního zorného pole uživatelem další zásadní roli. Bez položení podrobnějších otázek uživateli nelze určit, zda je prodloužená doba sledování způsobena dobrou interakcí, nebo nesprávnou interpretací konkrétního zobrazení. Přesto je třeba mít na paměti, že eye trackery jsou pouze nástroje, které zobrazují pohled uživatele, aniž by poskytovaly vysvětlení, proč se zaměřuje na určité místo.

Základem jednotlivých očních pohybů jsou jednotlivé sádky, které se vytvářejí z jedné fixace do druhé. Pochopení vizuální hierarchie určité vizuální scény uživateli usnadňuje pohyby v zorném poli. Jedinci například často zaměřují svou pozornost na jiné osoby nebo děti, než se přesunou k větším obrázkům nebo značkám, a nudný, jednotvárný text obvykle zaujímá poslední pozici ve vizuální hierarchii. Tuto hierarchii znázorňuje Heat Mapa na obrázku 10, která zobrazuje, kde je pozornost upřednostňována. [18]

Bylo provedeno několik studií o vlivu pohlaví na sledování očních pohybů. Jednou z potvrzených hypotéz je, že muži vytvářejí méně fixací než ženy, protože při sledování více sledují své okolí. Ačkoli by se mohlo zdát, že jejich sledování je neorganizované a chaotické, není tomu tak. Muži mají větší sklon postupovat vpřed s konkrétním cílem. V důsledku tohoto zjištění bylo provedeno několik dalších výzkumů zaměřených na vzorce nákupního chování v rozdílu pohlaví. [19]



10.Obrázek Heatmapa zobrazující hierarchii vizuálních polí a preference uživatele [20]

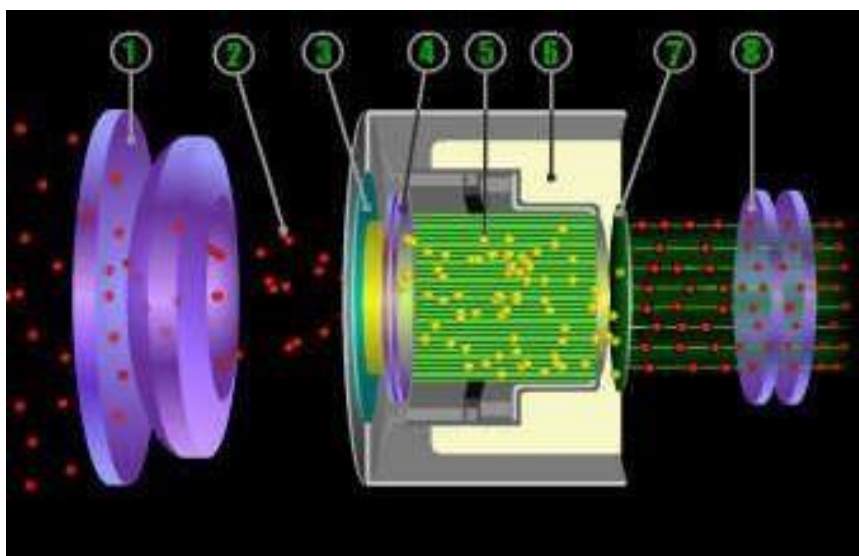
### 4.2.3 Důvěra ve zrak a ovlivnění člověka

Věta "Oko je okno do duše" je dobře známá a používá se již dlouho. Toto tvrzení naznačuje, že oči jsou z hlediska sledování pohybů očí jasným ukazatelem toho, co si uživatel myslí. Na následující výhody upozorňuje autor Jakob Nielsen ve své knize How to Conduct eye tracking studies: "Pozorováním pohybů očí získáváme pocit, že jsme bezprostředně v hlavě uživatele a přemýšlíme současně s ním. Studie využívající sledování pohybu očí mají tu výhodu, že jsou podstatně zábavnější a dovedou udržet pozornost diváků." [21]

Hodnotu a význam zraku dokládá několik dalších přístupů a myšlenek, včetně těch, které se vyskytují v každodenním životě. Princip myšlenkové mapy je jedním z principů. Jedná se o grafický nástroj, který pomáhá při organizaci informací. Pokud se k sladění grafických charakteristik používá větvení, barvy a řazení, zlepšuje se paměť. Tato vizualizace pomáhá mozku vybavit si informace tím, že potlačuje kreativní myšlení. Objev Issaca Newtona nebo starověké čínské kresby a diagramy ukazují, jak moc jedinci věřili svému zraku a schopnostem rozpoznávání vzorů.[22]

### 4.3 Noktovizor

Funguje na principu nočního vidění. Přístroj využívá pro svou funkci okolní a zbytkové světlo, například měsíc a hvězdy. Fotonásobič přijímá zbytkové světlo a převádí fotony na elektrony. Elektrony pak podléhají elektrochemické reakci, která je znásobí a nasměruje na fosforovou obrazovku, kde se přemění na viditelné světlo. Zobrazení tohoto principu je na obrázku 11 s popsáním jednotlivých částí noktovizoru. Výsledný obraz je živá, barevná scéna, kterou vidíme.



11.Obrázek Popis principu noktovizoru (1. Přesná čočka; 2. Fotony; 3. Trubice fotonásobiče; 4. Destička s mikrokánálky; 5. Elektrony; 6. Zdroj vysokého napětí; 7. Fosforová obrazovka; 8. Okulár) [38]

Existují čtyři generace technologií Noktovizoru. Technologický pokrok v oblasti intenzifikace obrazu za posledních deset let představuje čtvrtá generace, která je nejpokročilejší. Technologie čtvrté generace výrazně zlepšuje zaostření, rozlišení a identifikaci cíle, zejména v prostředí s velmi slabým osvětlením, neboť se zbavila iontové bariéry (zavedené ve třetí generaci) a "synchronizace". Tento technologický pokrok vedl k trojnásobnému zvýšení rozlišení, tudíž k mnohonásobnému zlepšení světelné odezvy a výkonu v podmínkách velmi slabého osvětlení. Tyto technologie se nejčastěji používají ve vojenských aplikacích. Psa nebo srnce lze za běžné noci rozeznat na dálku 75 až 100 m v závislosti na aktuálních světelných podmínkách. Obrázek 12 znázorňuje porovnání mezi 3 a 4 generací. [23]



12.Obrázek Porovnání třetí a čtvrté generace u Noktovizoru [38]

## 4.4. Termovize

Termovize je diagnostická a měřicí technika, která je založena na snímání tepla vyzařovaného zářením. K měření se používá termokamera, která zobrazuje zjištěné teploty v barevné škále.

### 4.3.1 Historie termovize

William Herschel poprvé identifikoval infračervené světlo v roce 1800, kdy se poprvé objevilo v přírodě. První přístroj, který dokázal identifikovat osobu pomocí infračerveného záření na vzdálenost 10 metrů, vytvořil v roce 1883 Macedonio Melloni. Jak technologie postupovala, začala ji využívat různá odvětví, počínaje protivzdušnou obranou během druhé světové války. Později se termokamery začaly používat v astronomii, strojírenství, lékařství, stavebnictví a lovu.

### 4.3.2 Princip termovize

Podle teorie o termovizi bude každý objekt s teplotou vyšší než absolutní nula produkovat elektromagnetické záření. Vlnová pásma jsou rozdělena na několik skupin, do kterých se často řadí spektrum elektromagnetického záření podle vlnové délky. Mezi vlnovými pásmy a elektromagnetickým spektrem není žádný rozdíl, protože všechna podléhají stejným fyzikálním pravidlům a liší se pouze vlnovou délkou.

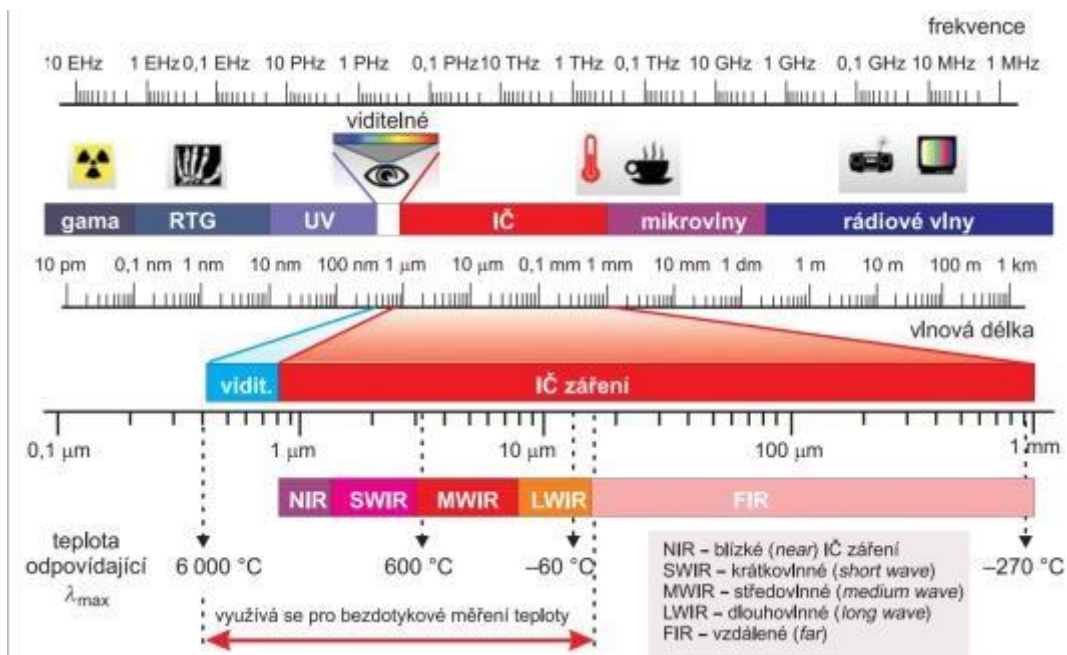
### **a) Absolutní nula**

Teoretický stav tělesa, při kterém ustane veškerý pohyb a z tělesa již nelze odebrat žádné teplo, je znám jako absolutní nula. Absolutní nula má teplotu 0 kelvinů neboli  $-273,15\text{ °C}$ . Doposud není známa žádná metoda, jak se dostat na hodnotu 0 K. Známé jsou pouze postupy, jak získat hodnotu absolutní nuly, a tyto metody byly testovány.

### **b) Elektromagnetické záření**

Elektromagnetické záření tvoří příčné postupné vlnění elektrického a magnetického pole. Záření viditelného spektra neboli světlo, které umožňuje vidění, je typem záření, které lidé nejčastěji vnímají. Postupem času byly objeveny i další typy záření mimo viditelné spektrum, které bylo třeba kategorizovat. Elektromagnetické spektrum se skládá z těchto skupin a každý typ záření se označuje podle vlnové délky (nebo frekvence). Jednotlivé skupiny se částečně překrývají a plynule přecházejí mezi sebou.

Viditelné spektrum označuje rozsah záření, které je schopno vnímat lidské oko. To je zobrazeno na obrázku 12 s popisem jednotlivých druhů záření. Mezi UV a IR zářením od 400 nm do 800 nm, pouze v relativně malém rozsahu vlnových délek, se nachází viditelné spektrum. Kromě toho, že záření mimo viditelné spektrum je pro člověka neviditelné, je pro něj také nepostřehnutelné. Přesto se s několika druhy záření můžeme setkat každý den. Pro ilustraci uveďme, jak UV záření ze slunce působí na lidský organismus tím, že způsobuje kožní skvrny a napomáhá tak k syntéze vitamínu D. Zvířata mohou na rozdíl od lidí vnímat nejen viditelné spektrum, ale také UV a infračervené spektrum. [24, 25]



13.Obrázek Elektromagnetické spektrum s vyznačenými pásmy infračerveného záření [24]

### c) Infračervené záření

Jednou z mnoha podskupin, které tvoří elektromagnetické záření jako celek, je infračervené záření. Jeho vlnová délka se pohybuje mezi viditelným spektrem a mikrovlnami v rozmezí od 760 nm do 1 mm. Teplota vyzařujícího tělesa ovlivňuje vlnovou délku infračerveného záření. Vlnová délka je obvykle kratší, čím vyšší je teplota těla. Existuje řada dalších dělení, která se používají k dalšímu rozdělení infračerveného záření do jednotlivých pásem. Nejčastěji se však využívá obecné rozdělení v tabulce 1. [26]

Název pásma	Zkratka	Rozsah od	Rozsah do
Blízké infračervené záření	NIR	0.76 $\mu\text{m}$	1.4 $\mu\text{m}$
Krátké vlnové délky	SWIR	1.4 $\mu\text{m}$	3 $\mu\text{m}$
Střední vlnové délky	MWIR	3 $\mu\text{m}$	8 $\mu\text{m}$
Dlouhé vlnové délky	LWIR	8 $\mu\text{m}$	15 $\mu\text{m}$
Vzdálené infračervené záření	FIR	15 $\mu\text{m}$	1000 $\mu\text{m}$

Tabulka 1 Obecné rozdělení oblastí infračerveného záření [27]

### 4.3.3 Termokamera

Termokamera je zařízení, které slouží ke sledování teploty bez fyzického kontaktu. Základní principy měření jsou podobné tomu, jak lidské oko nebo film zaznamenávají obraz. K zachycení obrazu jsou v obrazové rovině umístěny elementy citlivé na světlo.

Čočka je vyrobena z materiálu, který musí být nepropustný pro oblast vlnových délek tepelného zařízení. Sklo je pro tyto účely nepoužitelné. Termovize nevidí skrze sklo. Čočky pro termovize jsou vyráběny z germania, nebo safiru, případně dalších propustných materiálů.

#### 4.3.3.1 Základní parametry Termokamer

Základní parametry termokamer ovlivňující použitelnost pro danou aplikaci a cenu:

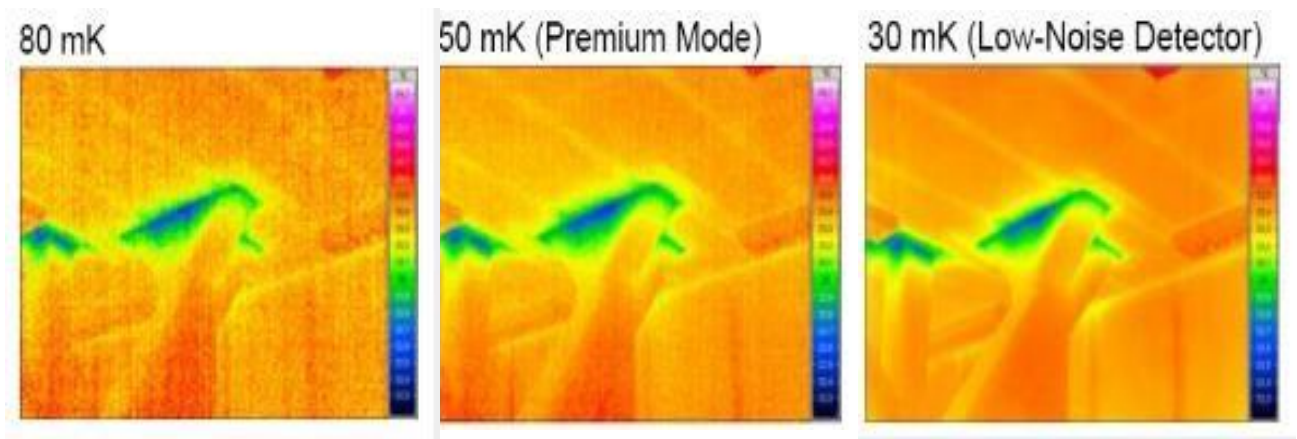
- a) teplotní rozsah
- b) spektrální rozsah
- c) přesnost stanovení teploty
- d) teplotní citlivost
- e) optické rozlišení, možnosti ostření a vyměnitelné objektivy
- f) měřicí a další funkce

**Teplotní rozsah** termokamery zobrazuje nejvyšší a nejnižší teplotu, kterou dokáže změřit. U mnoha termokamer je k dispozici několik měřicích rozsahů. Termokamery nyní mohou bezkontaktně sledovat teploty v rozsahu  $-40\text{ °C}$  až  $+3000\text{ °C}$ . [28]

**Spektrální rozsah** se nazývá, rozsah vlnových délek, ve kterém termokamera detekuje infračervené světlo. Spektrální rozsah termokamer se pohybuje od  $0,75 - 14\text{ }\mu\text{m}$ . [28]

**Přesnost stanovení teploty** se u termokamer pohybuje v rozmezí  $\pm 2\text{ °C}$  nebo  $\pm 2\text{ %}$  od naměřené hodnoty. Nejpresnější termokamery dokáží měřit s přesností na  $\pm 1\text{ %}$  nebo  $\pm 1$  stupeň  $\text{°C}$ . Při vyhodnocování výsledku měření je vždy třeba vzít v úvahu tuto nepřesnost stanovení teploty a využít ten nejméně příznivý výsledek. [28]

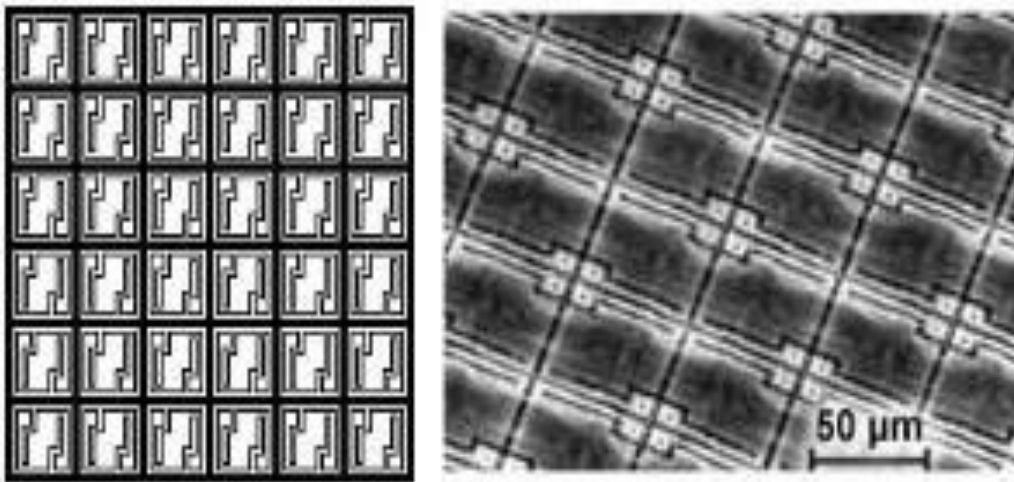
**Teplotní citlivost** termokamery se měří pomocí hodnoty NETD (noise equivalent temperature difference), kterou lze chápat jako minimální teplotní rozdíl, který vytváří signál silnější než vlastní šum systému. NETD je nejnižší teplotní rozdíl, který může termokamera zachytit na povrchu černého tělesa, a udává se v Kelvinech nebo stupních Celsia. Standardní hodnota se pohybuje od 100 mK u základních modelů až po 15 mK u nejcitlivějších termokamer současnosti. Na obrázku 14 je zobrazeno porovnání různé tepelné citlivosti termokamer [28]



14.Obrázek Porovnání různé tepelné citlivosti termokamer [28]

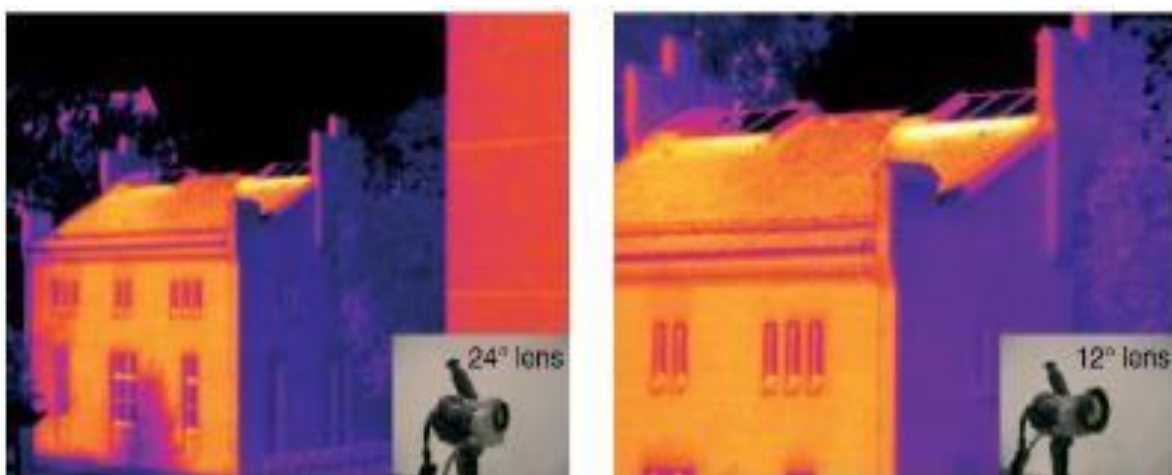
**Optické rozlišení, možnosti ostření a vyměnitelné objektivy** – detektor přijímá infračervený paprsek z objektivu. V něm se nachází několik pixelů, z nichž každý je diskretním detektorem, který transformuje dopadající infračervené světlo na elektrický signál, který je následně převeden na teplotu. Z počtu pixelů v tomto detektoru se pak vypočítá počet pixelů na výsledném snímku. Počet pixelů výsledného obrazu je pak dán právě počtem pixelů tohoto detektoru. Na obrázku 15 je zobrazen snímek části povrchu detektoru z elektronového mikroskopu s rozlišením 120x120 vpravo a vyobrazení detektoru s rozlišením 6x6 vlevo.[28]





15.Obrázek Rozdíl optického rozlišení u termokamer [28]

Část prostoru, která bude na detektor promítnuta ovlivňuje zorné pole objektivu. Zorné pole je část prostoru, který je objektiv schopný zachytit a který následně promítne na detektor infračerveného záření. Zorné pole se udává ve stupních rovinného úhlu a může být odlišné jak pro horizontální, tak i vertikální směr. Čím větší je úhel zorného pole, tím menší detaily jsou detektorem zachyceny. Na obrázku 16 je vidět, jaký vliv má zorné pole objektivu na část prostoru, který je termokamerou zaznamenán. Snímky z obrázku 16 jsou pořízeny ze stejného místa a se stejnou termokamerou. První snímek vlevo je vyfocen při použití objektivu se zorným polem 24 stupňů, kde je zobrazen celý dům. Druhý snímek vlevo byl pořízen s použitím objektivu s menším zorným polem 12 stupňů, kde je zobrazen detail domu. [28]



16.Obrázek Rozdíl zorného pole u termokamer [28]

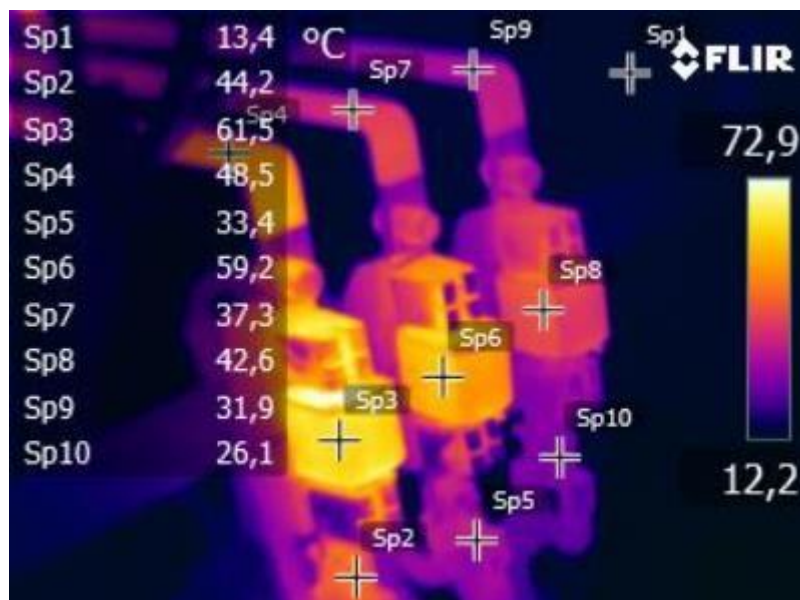
**Měřicí funkce** jsou základní měřicí nástroje termokamery, které umožňují analýzu v počítačovém programu při podrobnější analýze a tvorbě reportu nebo analýzou problému přímo v terénu.

Rozdělení měřících funkcí u termokamer

- **Měření teploty v bodě**
- **Měřicí funkce oblast**
- **Měřicí funkce teplotní profil**
- **Funkce izoterma**

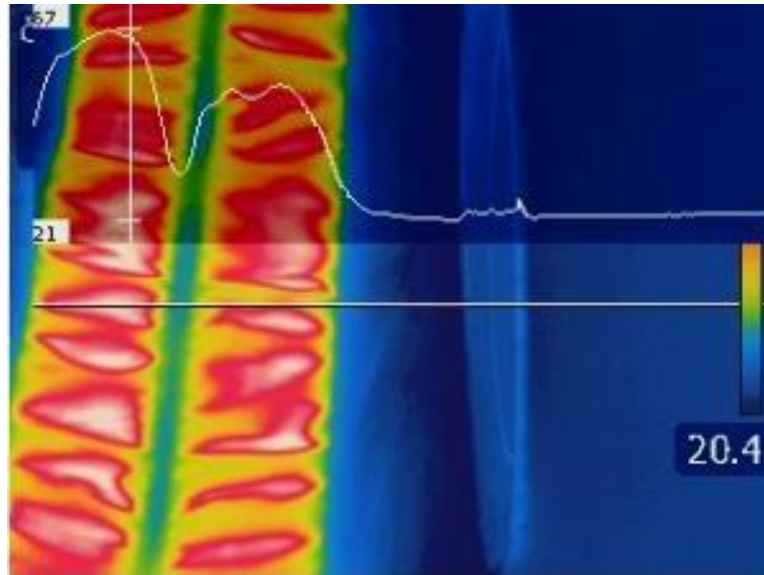
**Měření teploty v bodě** je základní měřicí funkcí každé termokamery. Umožňuje zaznamenat teplotu v jednom bodě. [29]

**Měřicí funkce oblast** umožňuje stanovit nejnižší, maximální a průměrnou teplotu v obdélníkovém nebo jiném nepravidelném tvaru. Poloha bodu s nejnižší nebo nejvyšší teplotou se v závislosti na nastavení zobrazuje v případě, že je zobrazeno mnoho bodů současně v termokameře, jak je zobrazeno na obrázku 17. [29]



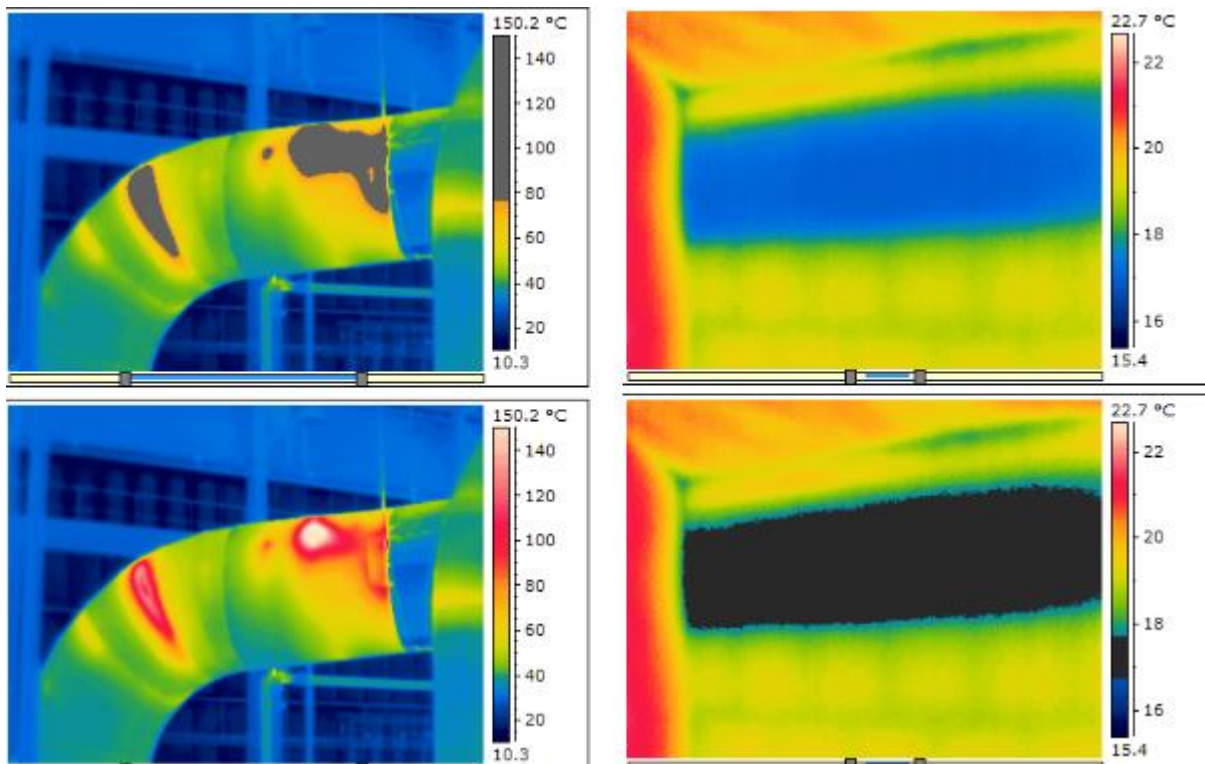
17.Obrázek Funkce měřicí oblast funkce [29]

**Teplotní profil** je funkce, která umožňuje zobrazit teplotu jako graf s přímkou. Je užitečná zejména při určování rovnoměrnosti teploty a závažnosti zjištěných poruch. Průběh výsledného zobrazení je na obrázku 18. [29]



18.Obrázek *Funkce teplotní profil* [29]

Obrázek 19 ukazuje, jak **funkce izotermy** lokalizuje oblasti, kde byly překročeny určité maximální nebo minimální přípustné limity. [29]



19.Obrázek Funkce izoterma – Vlevo zobrazení Izoterma „teplota nad“ a vpravo zobrazení Izoterma „teplota pod“ [29]

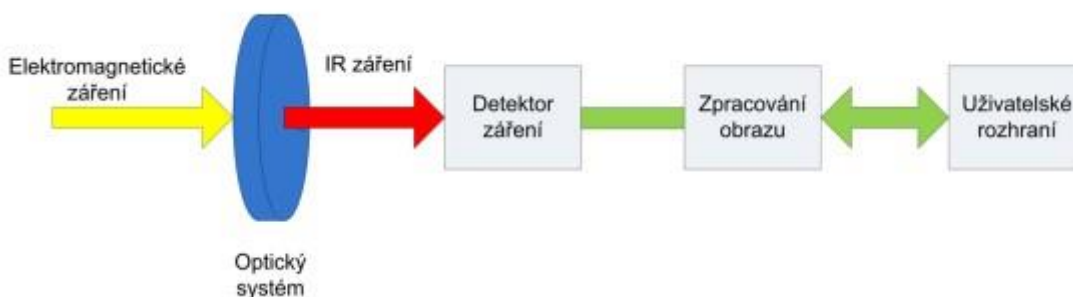
### 4.3.3.2 Typy a konstrukce Termokamer

Typy Termokamer se rozdělují na podle tepelného a kvantového detektoru. Každý typ má jedinečné vlastnosti, oblasti použití a cenové podmínky, které je odlišují. Pro většinu aplikací mají termokamery s tepelným detektorem nižší teplotní citlivost, zhruba 30 mK. Termokamery s kvantovým detektorem se využívají pro výzkumné a lékařské aplikace, kde jsou vyžadovány přesnější výsledky. Tyto kamery mají teplotní citlivost až 13 mK. Konstrukce citlivosti ve vlnovém pásmu představuje druhý významný rozdíl. Zatímco termokamery s kvantovým detektorem jsou vyrobeny tak, aby pracovaly prakticky s jakoukoli vlnovou délkou v pásmu 0,75 až 14 m, termokamery s tepelným detektorem mají rozsah přibližně 7 až 14 m.

**Optický systém, detektor a obvody pro předzpracování obrazu** jsou minimálně tři klíčové části, které má každá termokamera. Na obrázku 20 je znázorněna základní koncepce termokamery. Přítomnost ovládacích prvků je základním – i když ne nejjednodušším – dělením termokamer. Toto dělení probíhá na stacionární a ruční termokamery. [24, 30, 31]

**Stacionární termokamery**, které se obvykle používají pro sledování, zabezpečení a další účely v podnikání. Stacionární kamery jsou trvale připojeny k počítači a jejich nastavení a přenos obrazu jsou řízeny počítačem. Jsou vybaveny pouze konektorem pro připojení, bez úložiště, bez ovládacích prvků a obvykle s baterií.

**Ruční termokamery**, které obvykle slouží pro snímání v terénu. Na rozdíl od pevných kamer mají vestavěnou baterii, ovládací prvky a displej LCD.



20.Obrázek Jednoduché schéma hlavních konstrukčních částí termokamery[27]

## Detektor

Podobně jako snímač v tradičních kamerách RGB slouží detektor ke stejnému účelu. Pomocí optiky je infračervené záření nasměřováno na detektor a přeměněno na elektronický signál. Signál je poté korigován v dalších obvodech a teprve poté je předzpracován pro vytvoření konečného obrazu. Obvody pro předzpracování signálu jsou často přítomny již v detektorech. Bez těchto úprav lze zobrazit skutečné signály detektoru, ale výsledný obraz je velmi nekvalitní a obsahuje řadu chyb. Jako příklad je přiložen obrázek 21, kterým společnost FLIR v roce 2012 prezentovala výsledky svých nových metod zpracování signálu detektorů. Obrázek 21 ukazuje, jak zásadní význam mají obvody zpracování signálu pro termokamery. [24]



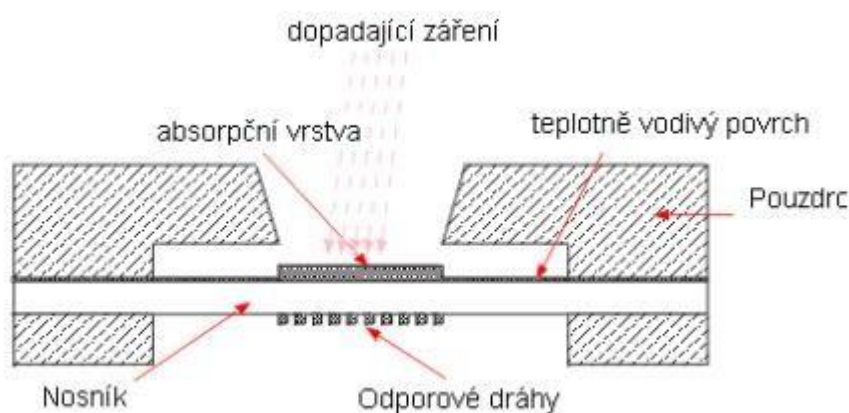
21.Obrázek Snímek bez aplikovaných korekcí signálu je vlevo, zatímco snímky se správnými algoritmy zpracování signálu aplikovanými na příslušné obvody jsou vpravo. [27]

Podle typu použitého detektoru lze rozlišit i typy termokamer. Tyto dvě kategorie chlazené a nechlazené detektory – jsou důsledkem konstrukční technologie.

**Chlazené detektory**, známé také jako kvantové detektory, se vyznačují vysokou rychlostí rádkového snímání (v tomto příkladu až 62 000 FPS), přesnějším měřením teploty a lepšími vlastnostmi při zpracování šumu. V závislosti na materiálu detektoru lze využít infračervené oblasti SWIR, MWIR a LWIR. Jejich rozměry jsou větší a hmotnost se pohybuje v kilogramech z důvodu nutného chlazení. Nevýhodou je výrazně vyšší cena než u nechlazených detektorů.

**Nechlazené detektory** mají jednodušší konstrukci, jsou spolehlivější, spotřebovávají méně energie a jsou lépe dostupné široké veřejnosti. V současné době jsou nejrozšířenější nechlazené detektory na bázi mikrobolometru. Možnost dosáhnout neuvěřitelně malých rozměrů je zajímavá skutečnost. Nevýhodou nechlazených detektorů je horší kvalita výstupu a přesnost měření než u detektorů chlazených.

Oblast chladicích detektorů je poměrně specifická a zpravidla se týká náročných aplikací (záchranné a bezpečnostní složky, armáda, vědecké a výzkumné ústavy atd.). Na druhou stranu prakticky všechny běžné případy zahrnují nechlazené detektory. Mikrobolometrická pole jsou jediným typem detektoru používaným při nechlazené detekci. Miniaturní bolometry, které reagují na dopadající infračervené záření, tvoří toto dvourozměrné pole. V závislosti na tom, kolik tepelného záření vyzařuje měřené těleso, mění každý bolometr svůj elektrický odpor. Každý odpor představuje jednu hodnotu signálu a jeden následný obrazový pixel. Počet bolometrů umístěných v poli určuje rozlišení nechlazených detektorů. Popis a schéma bolometru se nachází na obrázku 22.



22.Obrázek Schéma bolometru [27]

Ve srovnání s RGB kamerami nižších úrovní se rozlišení termokamer často liší. Od nejnižších dnes dostupných rozlišení (80 x 60 pixelů) až po nejvyšší třídu (1024 x 1024 pixelů). Je to dáno tím, že k dosažení dvojnásobného rozlišení termokamery je zapotřebí čtyřnásobný nárůst počtu bolometrů v matici.

### Optická soustava

Na rozdíl od běžných kamer nemohou termokamery používat standardní skleněnou optiku. Důvodem je skutečnost, že infračervené záření je běžnou optikou spíše odraženo než přenášeno. Ačkoli se dnes pro objektivy termokamer používá mnoho typů optiky, nejpoužívanějším materiálem je stále germanium nebo jeho slitina. [26, 27]

Optika z germania funguje také jako filtr pro všechny ostatní vlnové délky a v případě germania přijímá detektor pouze záření z oblasti LWIR nebo MWIR (v závislosti na úpravě optiky). Pro zlepšení infračervené propustnosti jsou na čočky rovněž nanесeny antireflexní nanovrstvy. Optika a nanovrstvy termokamer jsou velmi citlivé a nesprávné zacházení s nimi by mohlo vést k nenapravitelnému poškození. [26, 27]

Optika bohužel časem ztrácí i některé své vlastnosti. To platí zejména pro vnější faktory, které způsobují její oxidaci a snižují její schopnost přenášet infračervené záření. [26, 27]

#### **4.3.4 Využití eye trackingu v dopravě**

Sledování očí poskytuje vypovídající informace o tom, jak se lidé chovají při různých činnostech. Pochopení interakce mezi lidmi a jejich prostředím je pro bezpečnost provozu klíčové. Měření doby reakce a přesnosti, například jak rychle člověk dokončí práci a s jakou přesností. Analýza každého kroku, který vede k dokončení úkolu, je však stejně významná. Jelikož nabízí informace o vizuálních a kognitivních složkách výkonu nebo o sledování pozornosti respondenta, je sledování pohybu očí v tomto kontextu klíčové. Z tohoto důvodu se sledování pohybu očí často využívá při hodnocení řidičů nebo pilotů. [4]

Vyhodnocení pohybů očí vojenských pilotů při přistání v roce 1947 znamenalo počátek využití eye trackingu v dopravě. K tomu bylo třeba analyzovat videozáznamy očí jednotlivých pilotů. Sledování očí se začalo více využívat k analýze očních pohybů pilotů během simulovaných letů s tím, jak se rozšířily letecké simulátory.

V automobilovém průmyslu se rovněž používají eye-trackery, opět pro studium předchozích pohybů očí řidičů, ale také například jako varovný systém proti mikrospánku. Simulátory jsou velmi častým prostředím pro studie vozidel a řidičů (viz. Obr 23). Jejich výhodou je kontrolovaná situace při jednotných okolnostech pro všechny respondenty. Také je možné zkoumat, jak se řidiči chovají v krizových situacích, což je něco, co je v běžném provozu eticky nepřijatelné. Eye tracking se často používá v automobilovém průmyslu ke kontrole pozornosti řidičů, například při používání GPS navigace.





23.Obrázek Použití eye trackingu v simulačních podmínkách [32]

### 4.3.5 Použití technologie nočního vidění v dopravě

Přestože se intenzita dopravy v noci výrazně snižuje, dochází v této době skoro až k polovině všech dopravních nehod v Evropě. Při jízdě v noci se řidiči často spoléhají na různé typy světel, ale s rozvojem technologií někteří výrobci automobilů do svých vozidel instalují systémy nočního vidění. Tyto systémy jsou určeny především k tomu, aby řidiče upozornily na přítomnost zvířat, jízdnicích kol nebo chodců. [33]

#### 4.3.5.1 Aktivní systémy

Aktivní systém využívá vestavěnou infračervenou kameru k osvětlení zatemněných prostor a je založený na teorii noktovize. Při použití infračervené kamery nedochází k oslnění protijedoucích vozidel, což je významná výhoda oproti běžným světlometům. Infračervené světlo, které je pulzní nebo kontinuální, má také větší zorné pole než světlomety. Kamera snímá osvětlený prostor před vozem a sofistikovaný procesor z tohoto obrazu vytváří digitální přenos na přístrojový nebo středový displej, jak je znázorněno na obrázku 24. [33]

Výsledný obraz má velmi vysoké rozlišení, zejména při zdůraznění důležitých elementů, jako jsou lidé, zvířata, dopravní značky. Obrázek 24 je názornou ukázkou toho, jak aktivní systémy pracují a prezentují informace. [33]

Zásadní nevýhodou této technologie je nutnost odrazu infračerveného paprsku zpět do kamery, což je v případě hustého deště nebo mlhy velmi problematické. Funkce nočního vidění má v takových nepříznivých podmínkách svá omezení. [33]



24.Obrázek Zobrazení aktivního systému [33]

#### 4.3.5.2 Pasivní systémy

Pasivní systémy využívají ke své funkci termokameru. Tato termokamera zvýrazňuje teplé objekty, jako jsou lidé nebo cyklisté, zvířata dokonce i zahřáté komunikace. Na obrázku 25 je zobrazen černobílý obraz z termokamery, který je opět zpracován, než se zobrazí na digitální obrazovce před řidičem, jak je znázorněno na obrázku. V porovnání s infračervenou kamerou nebo světly má termokamera mnohem větší dosah. Důsledkem je, že předměty, které vyzařují teplo, mohou být na přístrojové desce detekovány dříve, než jsou skutečně viditelné. Díky technologii je možné nyní sledovat nejen lidi, ale i drobné živočichy. [33]

Tato technologie má však své nevýhody a nedostatky. Má horší kvalitu obrazu než aktivní systémy, a pokud se jedná o silný déšť, mlhu a extrémně horké večery, funguje podobně jako aktivní systémy. Cestování hustým lesem v zimě je další nedostatkem, protože povrch silnice se tepelně shoduje s okolím a splývá v jednu barvu. Totéž platí pro další věci, které nevytvářejí teplo. [33]



25.Obrázek Zobrazení pasivním systémem [33]

### 4.3.5.3 Používání ve vozidlech

Společnost General Motors byla první, která tuto technologii použila v roce 1988. Vzhledem k tomu, že tyto systémy jsou stále velmi drahé, mají je prakticky všechny vozy v příplatkové výbavě. [33]

Tuto technologii nabízejí zejména modely BMW řady X5, řady 7 a všechny vyšší modelové řady. Pro Audi je průlomová třída A6, od které lze s těmito systémy nočního vidění pořídit na všechny ostatní modely. Pro Mercedes je to třída S a vyšší. Mezi další vozy, které mohou být vybaveny těmito systémy, patří modely Peugeot 508, 3008 a 5008, Volkswagen Touareg, Honda Legend nebo Cadillac XT6.

## 5 Praktická část

Účelem praktické části bylo vysvětlit, jak řidič vnímá divokou zvěř za volantem. Za účelem zjištění tohoto průzkumu byla provedena řada experimentálních jízd s použitím potřebné techniky, postupu a metodiky, která bude dále rozebrána.

### 5.1 Eye trackingové brýle Tobii Pro 3

Na obrázku 26 je zobrazen model brýlí se čtyřmi integrovanými kamerami pro snímání očí a šestnácti očními osvětlovači zabudovanými přímo v čočkách. Brýle obsahují gyroskop, akcelerometr, mikrofon, magnetometr a jednu širokoúhlou kameru pro snímání okolí integrovanou přímo do obrouček. Všechny použité technologie nabízejí nejen mimořádně přesné výsledky sledování očí, ale také umožňují příjemné používání bez nutnosti fixace.



26.Obrázek Tobii Pro 3 eye trackingové brýle Zdroj: Vlastní

## 5.2 Nahrávací jednotka

Nahrávací jednotkou je počítač, který ovládá primární jednotku brýlí. Ta sleduje a zaznamenává veškerý zvuk, video a data ze sledování očí ze širokoúhlé kamery na přenosnou kartu SD. Náhradní dobíjecí lithium-iontová baterie v záznamové jednotce dobíjí zařízení i brýle. Na obrázku 27 je znázorněno toto záznamové zařízení, které je řízeno ovládacím programem Pro Glasses 3 a obsahuje řadu rozhraní. Na obrázku 27 jsou rovněž zobrazeny následující funkce a ovládací prvky:

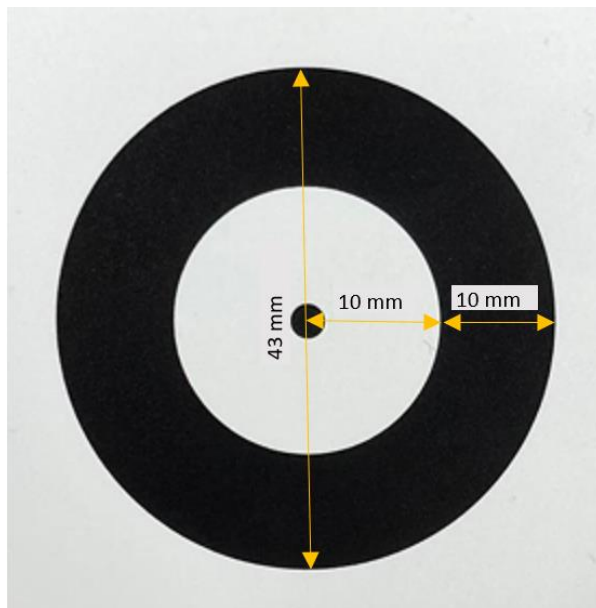
- 1) konektor hlavní jednotky
- 2) mikro USB konektor
- 3) synchronizační konektor
- 4) hlavní spínač se světelným indikátorem
- 5) světelný indikátor SD karty
- 6) světelný indikátor konektivity hlavní jednotky
- 7) LAN port
- 8) slot pro paměťové karty
- 9) klipsna opasku
- 10) držadlo baterie



27.Obrázek      *nahrávací jednotka eye trackingových brýlí [34]*

### **5.3 Kalibrační karta**

Na začátku každého měření je velmi důležitá kalibrační karta. Obrázek 28 znázorňuje tuto bílou kartu s černým kruhem, černou tečkou uprostřed a mimořádně přesnými proporcemi. Aby brýle Tobii Pro 3 eye track fungovaly efektivně, je třeba je před každým měřením nebo změnou respondentů zkalibrovat. Respondent se během kalibrace dívá směrem ke středu karty, aby brýle mohly přesně identifikovat střed zornic. Tato karta je vyrobena speciálně pro tento účel.



28.Obrázek Kalibrační karta Zdroj-Vlastní

## 5.4 Termokamera

Pro měření byla použita termokamera od společnosti HIKVISION. Jedná se o zařízení s teplotním rozsahem  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$  a teplotní citlivostí 40 mK. Kromě toho vysílá obraz v reálném čase se snímkovou frekvencí 25 Hz. Všechna naměřená data se zaznamenávají na kartu SD, která je součástí termokamery. Cena této konkrétní termokamery je 80 000 Kč.



29.Obrázek Termokamera HIKVISION [35]

## 5.5 Telefon

Aplikace Pro Glasses 3 je nainstalována v telefonu a slouží jako prostředník mezi respondenty a brýlemi. Pomocí aplikace lze experiment spustit nebo zastavit. Zároveň je možné brýle kalibrovat a současně kontrolovat nahrávání bezprostředně v průběhu experimentu.

## 5.6 Automobil Ford Ranger

Pro zkoušku bylo vybráno vozidlo Ford Ranger, který je zachycen na obrázku 30 vpravo. Vzhledem k jeho vlastnostem pro pohyb v terénu a z důvodu zachování konzistentního pohledu respondentů v průběhu celého pokusu byl zvolen tento automobil. Na vozidlo byla připevněna termokamera, jak ukazuje obrázek 30 vlevo.

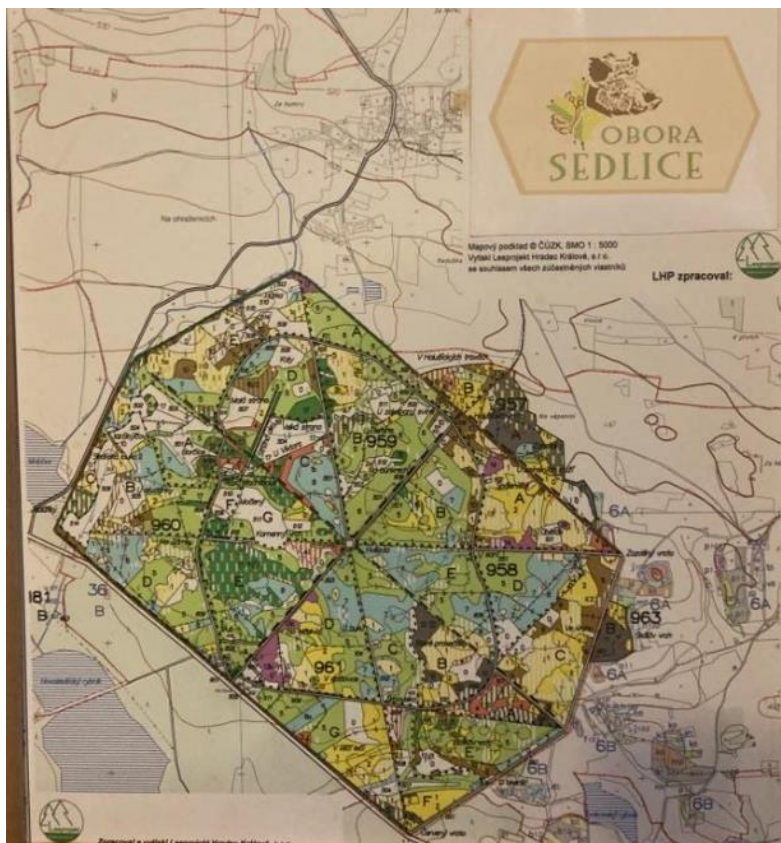




30.Obrázek Ford Ranger Zdroj: Vlastní

## 5.7 Lokalita měření a respondenti

Lokalitou výzkumného měření bylo zvoleno okolí jižních Čech, konkrétně oblast obce Sedlice a Sedlické obory. Součástí této obory je i přírodní rezervace a jejich celková rozloha je 257 ha. Obora slouží převážně k chovu lovné zvěře. Jak lze vidět na obrázku 31, má tvar pravidelného šestiúhelníku a protínají ji zpevněné, částečně zpevněné a nezpevněné cesty. Dvě části ohrady jsou od sebe odděleny dřevěným plotem, celá obora je ohraničena kamennou zdí. V první části se vyskytuje populace daňka skvrnitého, jelena siky Dybowského a srnce obecného. V druhé části se nachází skupina divokých prasat. V oboře se také vyskytují jiní drobní živočichové.



31.Obrázek Mapa Obory Sedlice Zdroj: Vlastní

Měření probíhala v reálném provozu a v úseku, kde není umožněn vjezd motorovým vozidlům bez povolení. V Sedlické oboře se chová větší množství lovné zvěře, proto byla pro experiment vybrána za účelem větší pravděpodobnosti setkání s ní.

Byli vybráni tři lidé, kteří vlastní řidičské oprávnění. Jejich údaje jsou uvedeny v tabulce 2, a žádný z nich netrpěl žádnou oční vadou, která by mohla ovlivnit výsledky experimentu. Přestože měli řidičský průkaz skupiny B, každý z nich měl různý rozsah řidičských schopností. Měření probíhala za různých světelných podmínek a v různou denní dobu.

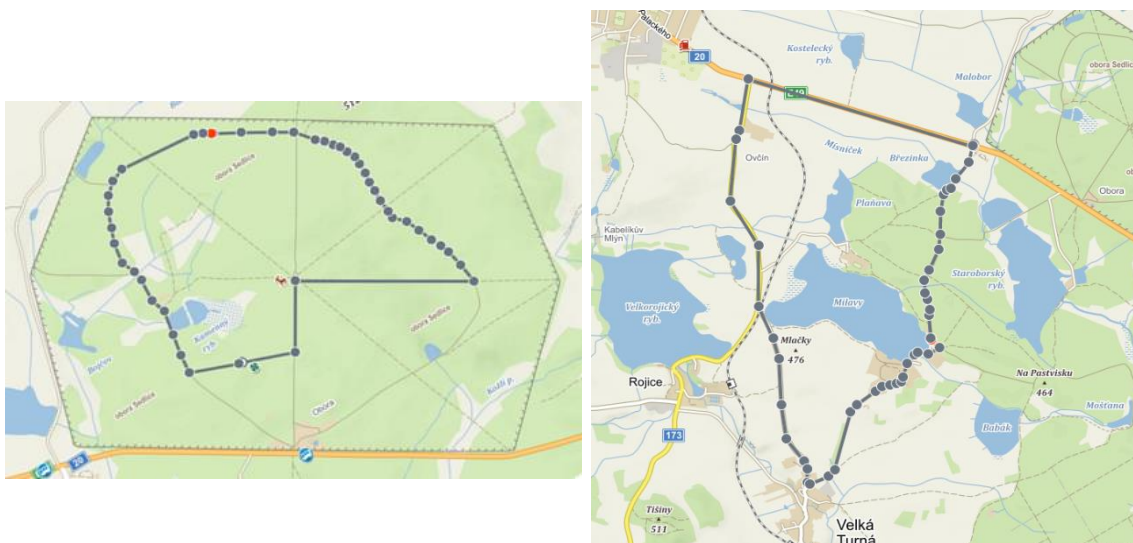
	Pohlaví	Věk	řidičský průkaz
řidič 1	muž	36	B+C
řidič 2	žena	23	B
řidič 3	muž	25	B

Tabulka 2 Zkušeností respondentů

## 5.8 Metodika měření

Každá jízda vyžadovala dva lidi pro správný průběh měření. První z nich byl řidič, který se po nasazení brýlí Tobii Pro 3 pro sledování očí zaměřil na střed kalibrační karty. Druhý, sedící na sedadle pro spolujezdce, provedl kalibraci s mobilní aplikací. Po automatické kalibraci pojmenoval a zahájil záznam v aplikaci a zároveň spustil nahrávání na připevněné termokameře, čímž odstartoval jednotlivá měření. Úkolem řidiče bylo projet polní okruh, který procházel oběma částmi obory, rychlostí přibližně 35 km/h. Z hlediska bezpečnosti, stavu vozovky a možností záznamového zařízení se tato rychlost ukázala jako ideální.

Obrázek 32 vlevo znázorňuje měřený okruh v Sedlické oboře, který trval přibližně osm minut. V pravé části obrázku 32 je vyobrazen měřený okruh v reálném provozu, který trval zhruba deset minut. Všichni účastníci se střídali v přesném numerickém pořadí. Ke konci dne, kdy se začala zhoršovat viditelnost, bylo provedeno první měření, které pokračovalo až do úplné tmy. Každý den bylo provedeno celkem 9 měření v reálném provozu i v Sedlické oboře. Celkem bylo získáno 27 záznamů pro zpracování.



32.Obrázek Trasy měření – vpravo okruh Sedlické obory, vlevo venkovní okruh [36]

## 5.9 Zpracování výsledků

Výsledky se zpracovávaly v programu Tobii Pro Lab. Tento program mimo jiné umožňuje rozdělit video a zpracovat každou část zvlášť nebo vytvořit tepelnou mapu. Místa, kam řidič nejčastěji soustředí svůj pohled, jsou na tepelné mapě znázorněna barevně. Zvolené barvy jsou světle zelená, žlutá a červená, které představují místa časté fixace. Dalším prvkem zobrazování je "Gaze plot". Podle pořadí, v jakém byly zaznamenány, představuje tento prvek jednotlivé fixace s číselným označením. Pro znázornění fixací jsou použity barevné plné kruhy různých velikostí. Tyto kruhy spojují čáry znázorňující sakády.

## 6 Výsledky a diskuse

Jednotlivé výsledky měření jsou Tobii Pro Lab zobrazeny a porovnány v níže uvedených kapitolách.

### 6.1 Řidič číslo jedna

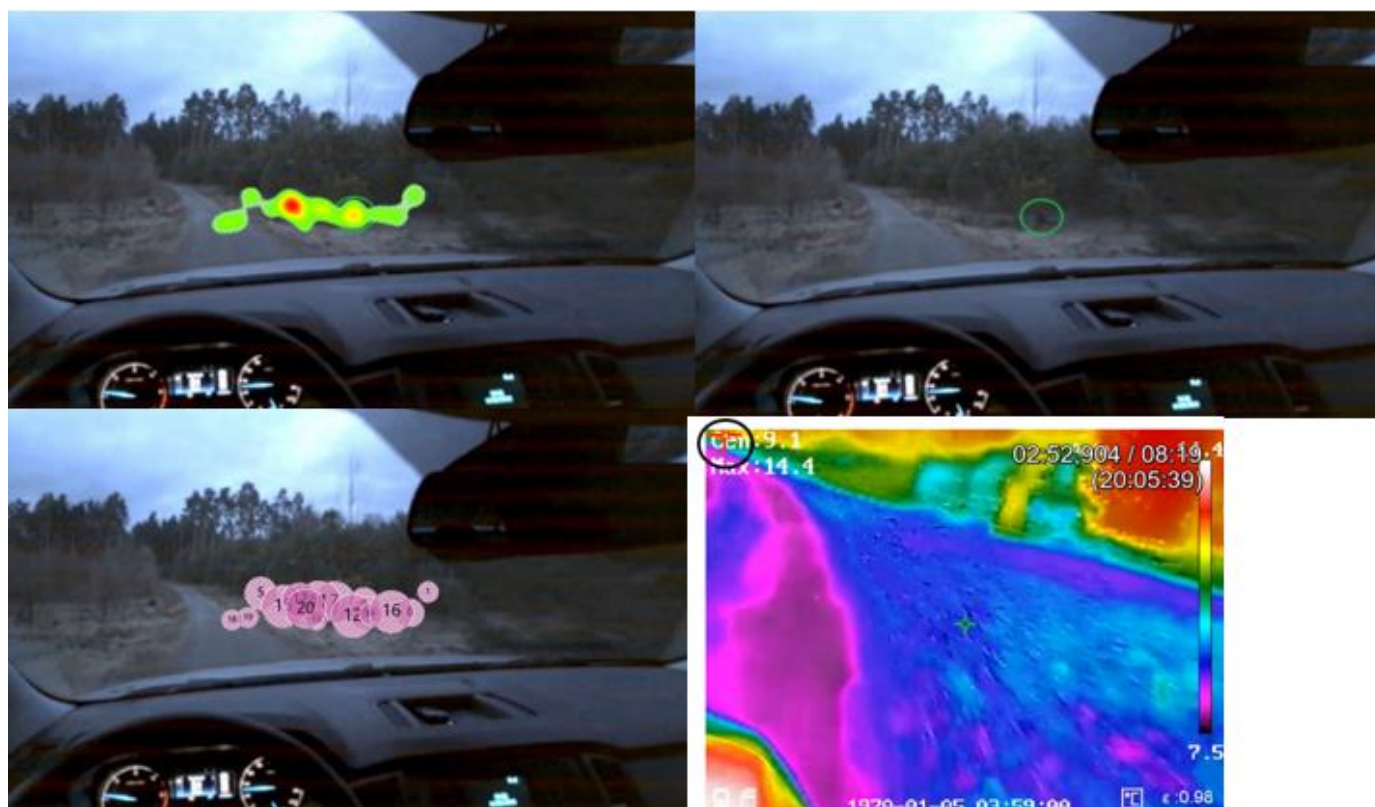
Vzhledem k počtu ujetých kilometrů a době držení řidičského oprávnění je zřejmé, že první účastník výzkumu je zkušený řidič. Místní pozemní komunikace mu byly dobře známé.

Obrázek 33 zachycuje první setkání řidiče s divokým prasetem v Sedlické oboře. Znázorňuje tepelnou mapu, která ilustruje, kterým místům věnoval řidič v průběhu patnáctisekundového záznamu největší pozornost.



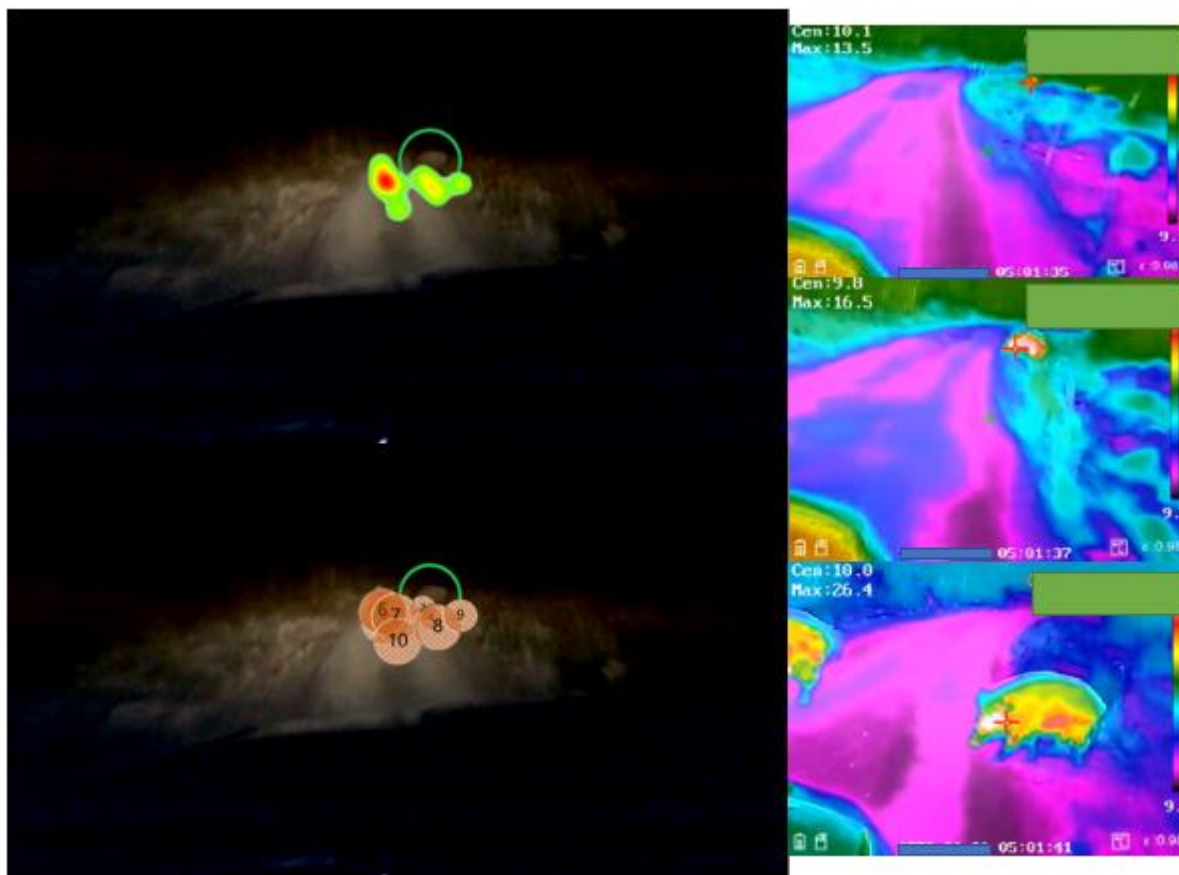
33.Obrázek Řidič č. 1 – Setkání Řidiče se zvířím – šero – Zdroj: Vlastní

Obrázek 34 porovnává patnáctisekundový úsek v podvečerních hodinách. Je tvořen čtyřmi snímky. Levá strana zobrazuje oblast, kde se řidič dostal do kontaktu s divokým prasetem. Pravý spodní snímek zobrazuje obraz z termokamery ve stejnou dobu. Pravá horní část snímku zachycuje moment, kdy byl ukončen záznam. Zobrazení funkce Heat Map je v pravé horní části obrázku a funkce Gaze plot je uvedena v pravé dolní části obrázku. Na obrázku je viditelné, jak řidič vnímá divokou zvěř za soumraku. Díky velkému optickému zornému poli řidič snadno vidí všechny potenciální možné situace. Řidič se během této patnáctisekundové doby soustředil pouze na jízdu a ani jednou se nepodíval na tachometr. Výsledky reakce byly ve srovnání s termokamerou stejné.



34.Obrázek Řidič č. 1 šero – porovnání reakční doby s termokamerou– Zdroj: Vlastní

V levé části obrázku 35 můžeme pozorovat situaci za snížené viditelnosti, kde se zorné pole řidiče zužuje do středu výhledu. V desetisekundovém videozáznamu pořízeného v Sedlické oboře je zachyceno, jak řidič zahlédl divoké prase, a kam vede jeho reakce očí. Pozornost řidiče je upřena na střed světel od vozidla. Při zaznamenání divokého prasete se ohnisko posunulo mírně doprava. Reakce termokamery trvala o 2,5 sekundy rychleji než reakce řidiče. Během jízdy předem stanovenou rychlostí 35 km/h vozidlo za 2,5 sekundy ujelo 24 metrů, a právě o tolik se mohla zkrátit brzdná dráha. Termokamera také zachytila další divoké prase kousek od kraje lesní cesty, které je zobrazeno na obrázku vpravo dole, jak vběhlo do vozovky.



35.Obrázek Řidič č. 1 tma – porovnání reakční doby s termokamerou– Zdroj: Vlastní

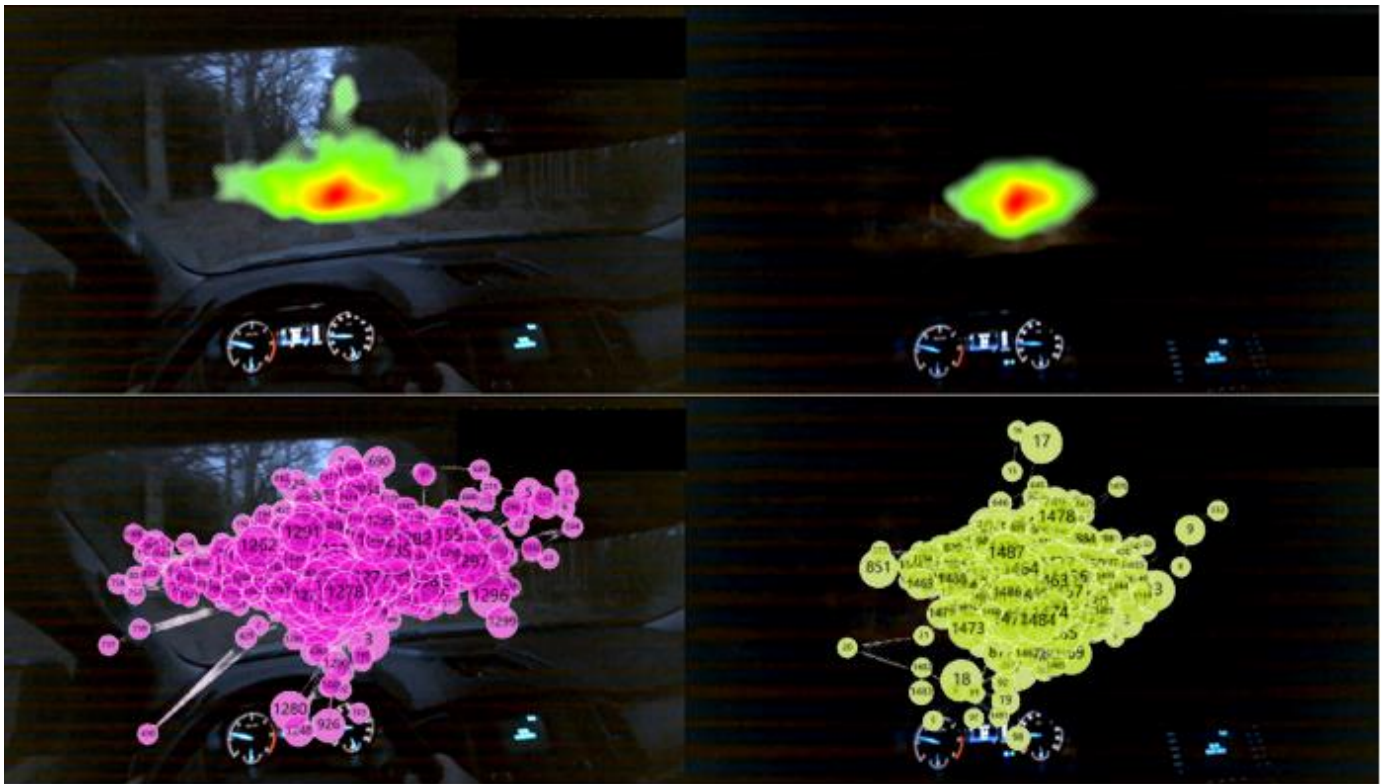
Při porovnání pohledů řidiče č. 1 během střetu se zvířetem za soumraku a v noci ukazuje obrázek 36 Heat mapu, kde se optický kužel zmenšil. Vzhledem k tomu, že zorné pole je zúžené, vyplývá z toho, že se zhoršila řidičova reakční doba.



36.Obrázek Porovnání vnímání řidiče I při střetu s divokou zvěří– Zdroj: Vlastní

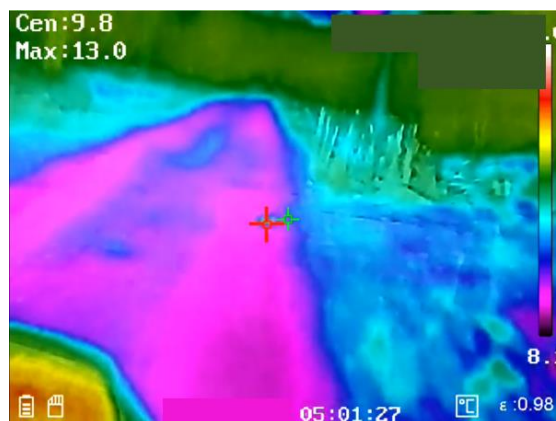
Srovnání celkové doby jízdy za soumraku a za tmy z pohledu řidiče č. 1. je zaznamenáno na obrázku 37. Měřený záznam za šera trval 8 minut a 18 sekund. Měřený záznam za tmy trval 15 minut a 23 sekund. Oba záznamy byly pořízeny v Sedlické oboře. V horní části obrázku je zobrazena tepelná mapa. Optický kužel se zmenšil a mapa ukazuje, že se zmenšila i pozorovatelná vzdálenost. Gazeplot ve spodní části obrázku ukazuje, že fixace a kaskády řidiče byly za soumraku delší a větší než v noci.





37.Obrázek Porovnání celkového vnímání jízdy – řidič .1– Zdroj: Vlastní

Termokamera také zachytila drobného živočicha, který je na snímku 38 dobře viditelný, ale řidič ani spolujezdec jej neviděli. To dokazuje, že termokamera dokáže zachytit i drobné živočichy a upozornit na jejich přítomnost.

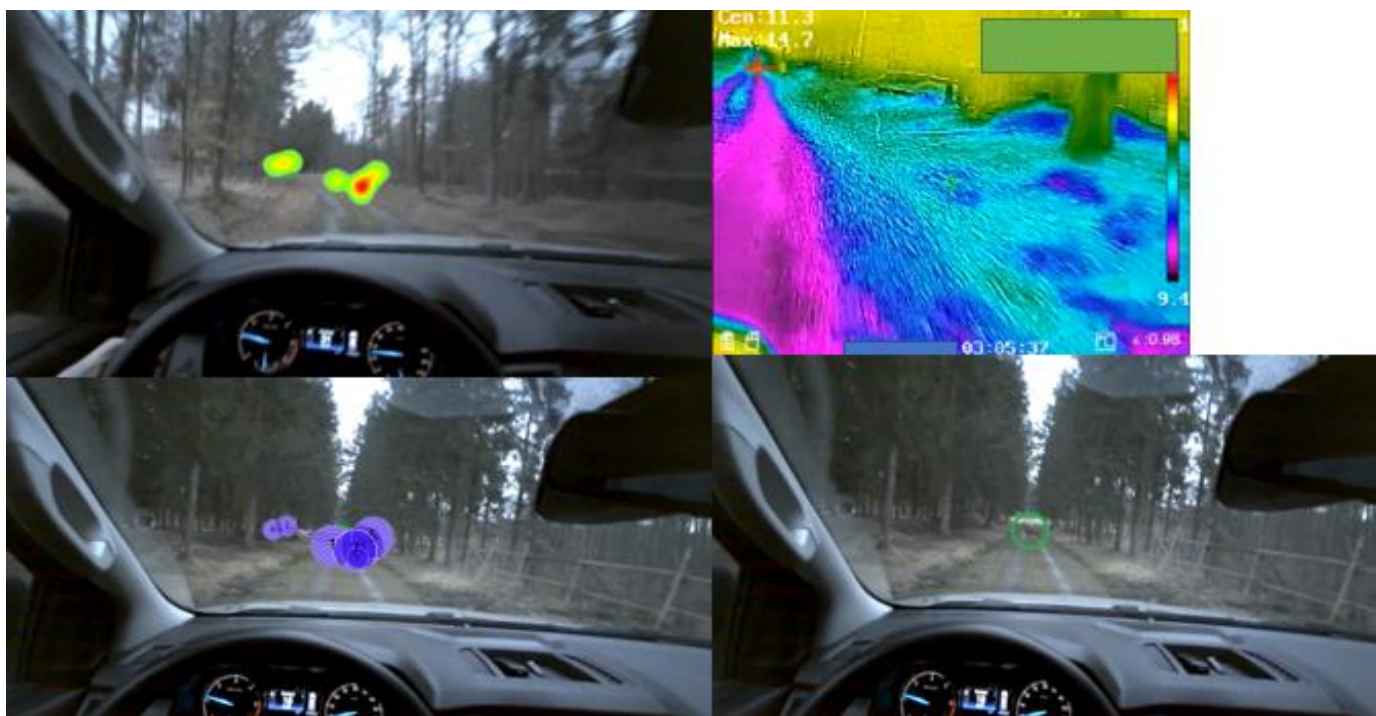


38.Obrázek Zaznamenaná myš na termokameře při jízdě řidiče 1– Zdroj: Vlastní

## 6.2 Řidič číslo dva

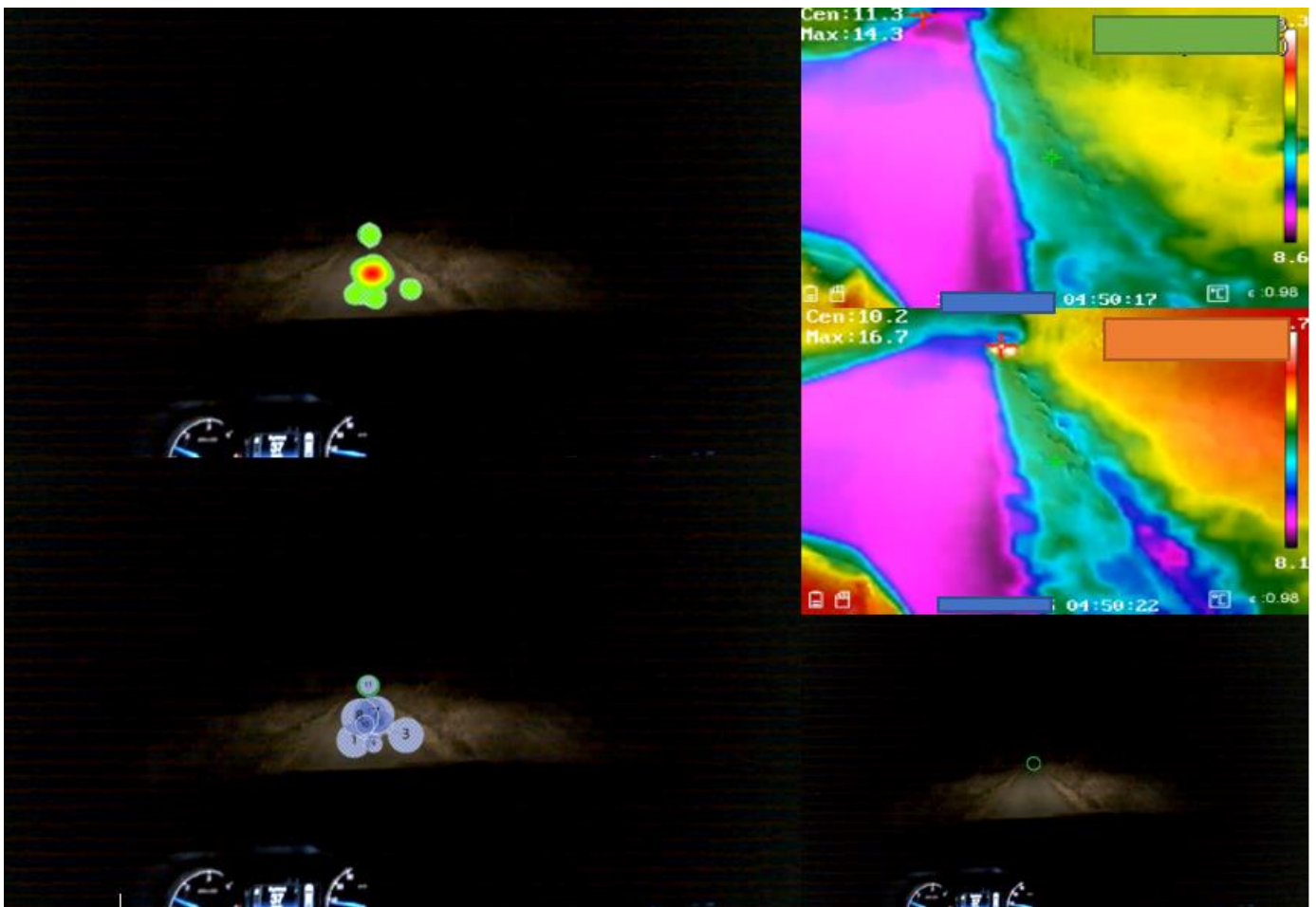
Vzhledem k počtu ujetých kilometrů a době držení řidičského oprávnění je zřejmé, že druhý účastník výzkumu je méně zkušený řidič. Řidič nemá téměř žádné znalosti o okolních komunikacích.

Obrázek 39 je složen ze čtyř snímků a je vyjmut z 12 sekundového záznamu. Prvotní zpozorování jelena řidičem za soumraku je vyobrazeno v levém horní části obrázku. V levé horní části obrázku, se nachází Heat mapa, která zobrazuje, kam se posunovala řidičova pozornost. V levé spodní části obrázku je zobrazení Gaze plot, kde jsou zaznamenány dvě fixace 2 a 4. Každá z těchto fixací trvala 220 milisekund. Protože se jelen v době reakce řidiče nacházel mimo zorné pole termokamery, byl obraz z termokamery, který je vidět v pravém horním rohu obrázku, posunut o 2,5 sekundy.



39.Obrázek Řidič č. 2 šero – porovnání reakční doby s termokamerou – Zdroj: Vlastní

Obrázek 40 popisuje záznam šestisekundového videa, pořízeného ve volném terénu, zobrazuje střet s dvěma divokými prasaty. Důkazem je záznam z termokamery, kde jsou obě prasata zaznamenána. Zobrazení přítomnosti obou prasat se nachází v pravé horní části obrázku, kde jsou pořízeny snímky z termokamery po 5 sekundách. Řidič ani spolujezdec první divoké prase neviděli. Druhé divoké prase bylo zaznamenáno oběma pasažéry, ale na videu z Tobii Pro Lab není vidět. V pravé části obrázku je zobrazena heat mapa a Gaze plot, kde je vidět, že řidič si všímá středu osvětlení. Z grafu Gaze plot je zaznamenána fixace 11, která vybočuje z centra pozornosti a trvala 18 ms.



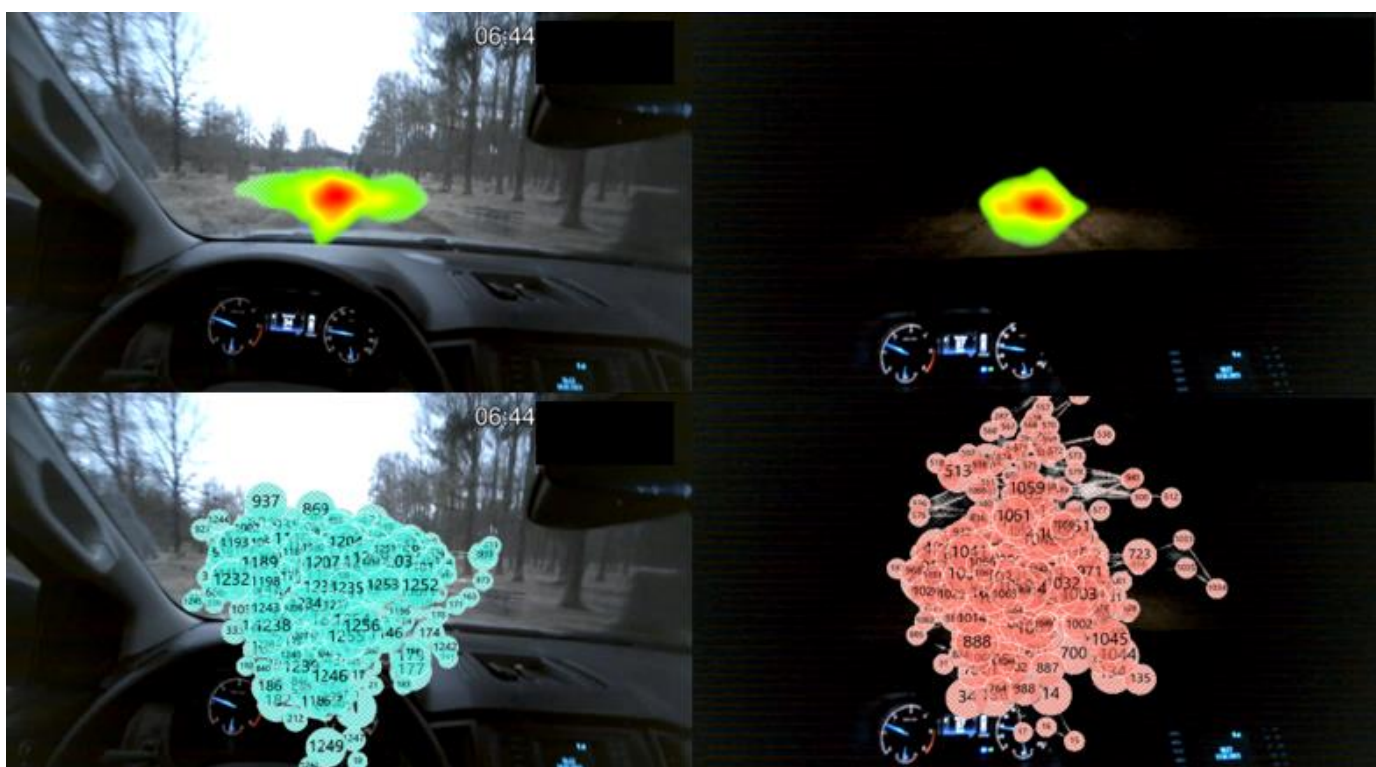
40.Obrázek Řidič č. 2 tma – porovnání reakční doby s termokamerou– Zdroj: Vlastní

Srovnání vnímání řidiče č. 2 na obrázku 41 při střetu s divokým zvířetem za soumraku a v noci, tepelná mapa odkazuje na optický kužel, který se zmenšil a jeho největší koncentrace se nachází několik metrů před vozem. Při nočním setkání se zvířeti se orientace řidiče přesunula na několik metrů vpřed, což zachycuje i funkce Gaze Plot, který zaznamenal fixaci 11, která trvala 18 ms. Při střetu se zvířetem za šera, je zřejmé, že řidič viděl zvěř v dostatečné vzdálenosti, a proto má větší prostor pro reakci, než když je venku tma. V porovnání s reakcí za šera je reakční doba řidiče zpomalena kvůli omezenému zornému poli.



41. Obrázek Porovnání vnímání řidiče 2 při střetu s divokou zvěří – Zdroj: Vlastní

Na obrázku 42 je porovnání celého výzkumného měření za soumraku i za tmy. Záznam za soumraku trval celkově 10 minut a 7 sekund. Noční záznam trval o 34 sekund pomaleji než za soumraku. Obě jízdy se uskutečnily na stejné trase po Sedlické oboře. Na horní části obrázku 42 je zaznamenána heat mapa, která porovnává, jak je velké vnímání řidiče při soumraku a za tmy. Obě mapy mají ohnisko soustředění zaměřené na střed vozovky před vozidlem. Heat mapa vlevo má větší optický kužel. Ve spodní části obrázku se nachází Gaze plot, který zaznamenal fixace a sakády během celé jízdy.



42.Obrázek Řidič 2 - Porovnání celkového vnímání jízdy – Zdroj: Vlastní

### 6.3 Řidič číslo tři

Vzhledem k počtu ujetých kilometrů a době držení řidičského oprávnění je zřejmé, že druhý účastník výzkumu je zkušený řidič. Řidič má menší znalosti o okolních komunikacích než řidič č.1.

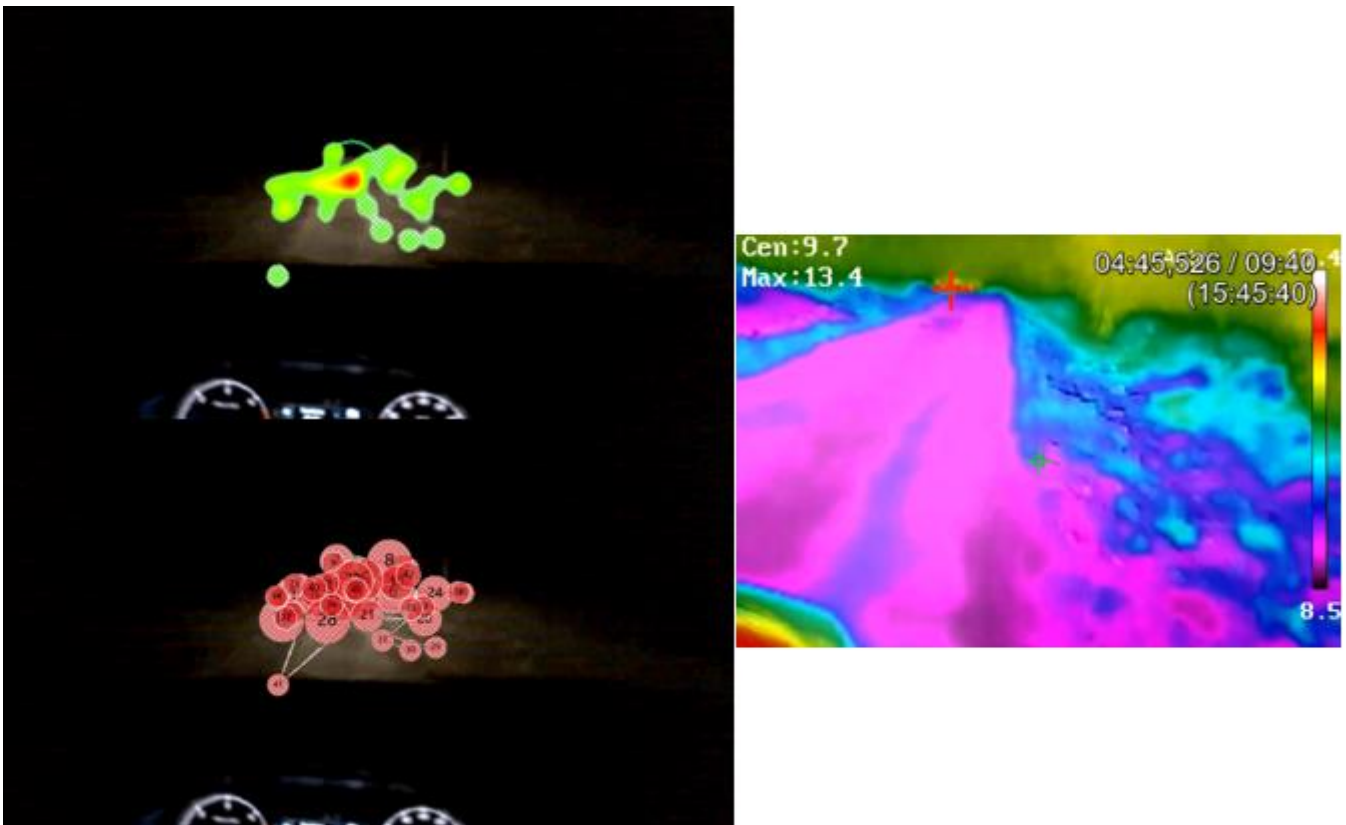
Obrázek 43 zobrazuje výsledky analýzy střetu řidiče č. 3 s lidmi na lesní cestě za soumraku. V pravé části obrázku je vidět snímek termokamery z doby, kdy zachytila chodce. Heat mapa zobrazuje, jak daleko před auto se řidič dívá. Na přístrojové desce byly vidět tři fixace v době střetu vozidla s chodci. Fixace 12 a 13 trvaly 140 a 120 milisekund a poté následovala fixace 34, která trvala 220 milisekund. Fixace 22 - doba, kdy automobil míjel chodce, je největší fixací během tohoto záznamu. Tato fixace trvala celkem 401 milisekund.

Záznam trval celkem 15 sekund. V tomto případě byla reakce termokamery o jednu sekundu pozdější než reakce řidiče.



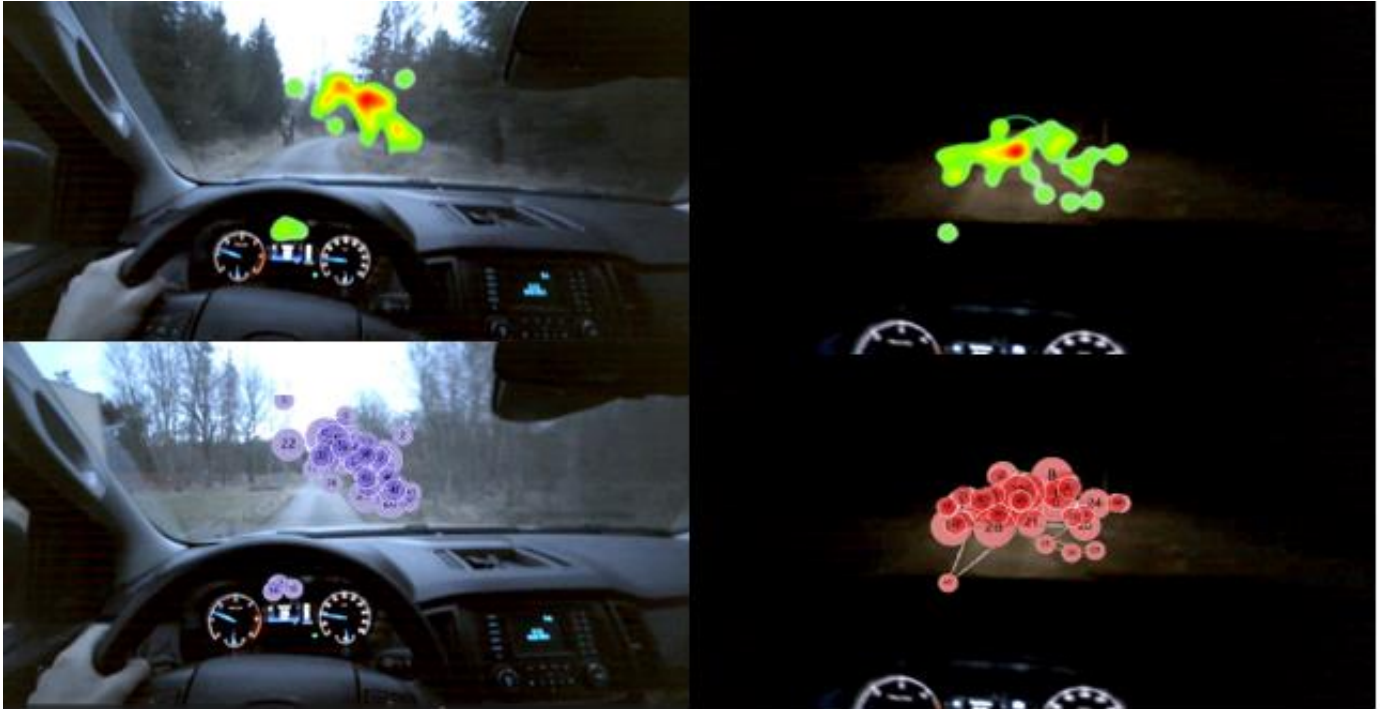
43.Obrázek Řidič č. 3 šero – porovnání reakční doby s termokamerou– Zdroj: Vlastní

Obrázek 44 se sníženou viditelností ukazuje, jak široké je zorné pole řidiče č. 3. Na 15 sekundovém záznamu, který byl pořízen v Sedlické oboře, je zachycen zrak řidiče i to, jak si divočáka poprvé všiml. Na tepelné mapě je vidět, jak ho řidič sleduje až na hranici viditelnosti. Z Gaze Plot je pouze jedna fixace 41 směrem k přístrojové desce, která trvá celkem 160 milisekund. Ze záznamu bylo zjištěno, že termokamera zaznamenala aktivitu před řidičem o 2,5 sekundy dříve. To znamená, že brzdná dráha se při zadané rychlosti 35 km/h prodloužila o 24 metrů.



44.Obrázek Řidič č. 3 tma – porovnání reakční doby s termokamerou– Zdroj: Vlastní

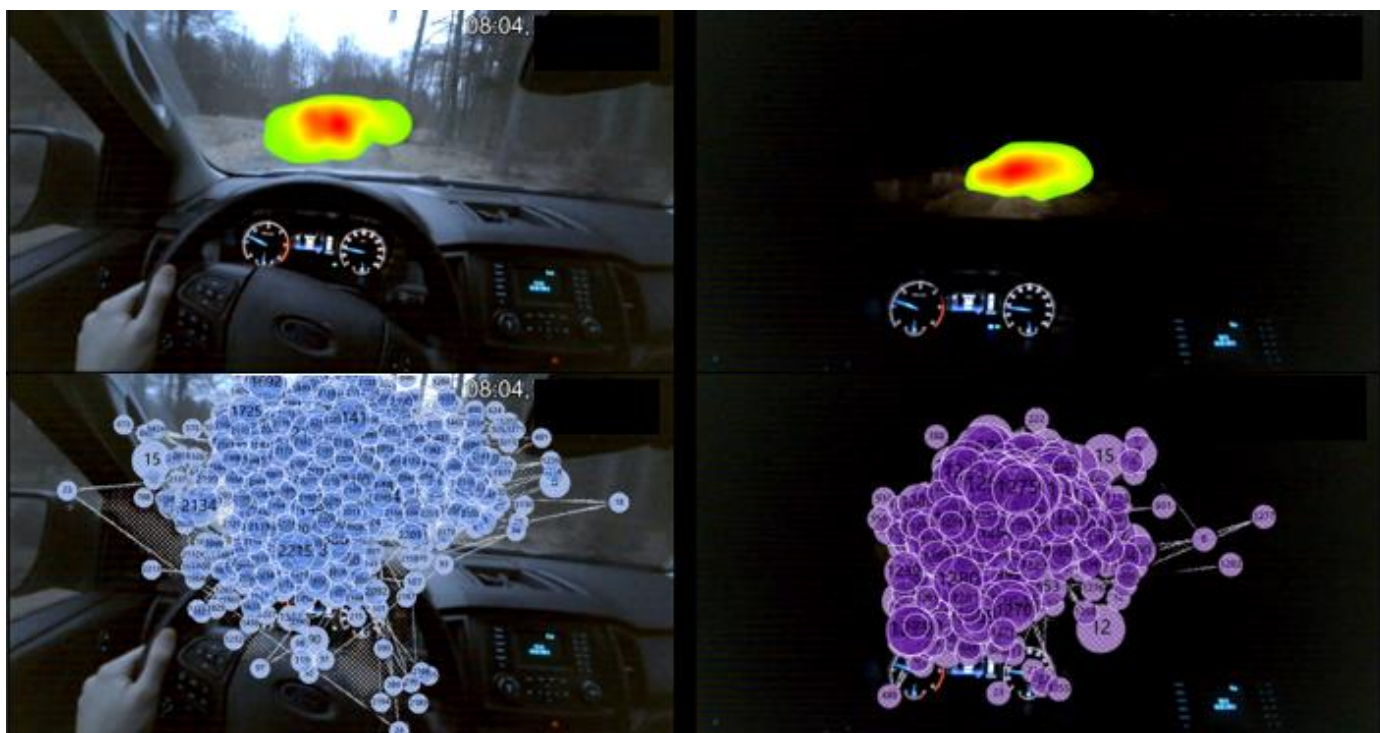
Srovnání pohledů řidiče č. 3 při setkání s divokým zvířetem za soumraku a v noci, je zobrazeno na obrázku 45. Podle tepelné mapy se zorný úhel tohoto řidiče výrazně nezměnil, ale spíše se posunul do centrální části. Vzhledem k tomu, že oba záznamy trvají přesně 15 sekund, je možné porovnat celkové chování řidiče po celou tuto dobu. Jak je patrné, za tmy byla zaznamenána pouze jedna fixace na palubní desku a za soumraku tři.



45.Obrázek Řidič 3 - Porovnání celkového vnímání jízdy – Zdroj: Vlastní

Obrázek 46 porovnává naměřená data řidiče č. 3 za soumraku a v noci. Doba měření za soumraku trvala 13 minut a 14 sekund. Noční záznam trval 9 minut a 39 sekund. Na základě porovnání tepelných map v horní části obrázku se nezdá, že by se vnímání za šera a vnímání v noci lišilo. Ve spodní části obrázku se nachází gaze plot, který ukazuje, jak řidič během jízdy za soumraku snímá celou pozorovací plochu z předního skla, a tím získává velký přehled, zatímco během noci přesouvá své soustředění na střed světelné pozorovací plochy, která je menší.





46.Obrázek Řidič 3 - Porovnání celkového vnímání jízdy – Zdroj: Vlastní

## 7 Závěr

Pro tuto diplomovou práci byla použita metoda eye tracking. Pomocí eye trackingových brýlí bylo sledováno vnímání řidiče při jízdě za snížených světelných podmínek. V dnešní době se tato technika využívá především pro marketingové cíle, pro zlepšení reklamy nebo pro strategické umístění důležitých informací. Pro tuto diplomovou práci bylo použití eye trackingové metody zcela nezbytné.

Měření probíhalo s několika účastníky výzkumného měření za různých světelných podmínek. Výsledky dat z eye trackingu ukázaly, že na vnímání zvěře mají kromě světelných podmínek vliv i zkušenosti řidiče a jeho znalost vozovky v dané oblasti.

Výzkumné měření prokázalo, že termokamery jsou při jízdě v noci užitečné pro sledování velkých nebo drobných živočichů či dokonce i lidí. V současné době jsou tyto systémy k dispozici pouze jako doplněk v nadstandartních vozidlech. Použitím termokamer se výrazně sníží počet dopravních nehod způsobené divokými zvířaty vyčkávající u silnice. Divoká zvířata často při spatření osvětleného vozidla prchají a z důvodu dezorientace mohou vběhnout pod kola přibližujícího se vozidla. V tuto dobu má řidič jen malou šanci se vyhnout srážce. Při testování termokamery ve tmě byly její reakce vždy o 2-3 sekundy rychlejší než reakce řidiče. To dává řidiči větší manipulační prostor pro případnou reakci, aby zamezil srážce se zvěří.

Při měření byla použita termokamera, která má pořizovací cenu 80 000 Kč. To odpovídá dnešním cenám za opravu automobilu při střetu se zvěří, proto bylo po analýze a porovnání výsledků rozhodnuto, že by toto zařízení mělo být součástí standardního vybavení.

K efektivnímu použití termokamer do automobilů by byly nutné implementovat dvě termokamery. Optimální místa pro umístění termokamer do vozu jsou buď po stranách předního nárazníku, nebo uvnitř sloupků A. Tato umístění termokamer by pokrývalo dostatečný úhel pro včasné spatření potenciální zvěře. Vzhledem k tomu, že při instalaci do vozidla nebude použita celá termokamera, ale jen část, která využívá principu zobrazení tepelného záření, cena by měla být nižší než pořizovací. Použitím termokamer se ve výsledku ušetří čas, který by se věnoval opravě vozidla a dále se předejde nepříjemné životní zkušenosti.

## 8 Seznam použitých zdrojů

- [1] JENNIFER ROMANO A ANDREW SCHALL. *BERGSTROM*. 2014. ISBN 9780124167094.
- [2] KEITH, ALEXANDER POLLATSEK, Jane ASHBY a Charles CLIFTON JR. *RAYNER*. 2011. ISBN 978-1848729759.
- [3] *A Brief History of Eye-Tracking | UX Booth* [online]. [vid. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://www.uxbooth.com/articles/a-brief-history-of-eye-tracking/>
- [4] MGR. STANISLAV POPELKA, Ph.D. *Eye-tracking (nejen) v kognitivní kartografii Praktický průvodce tvorbou a vyhodnocením experimentu*. 2018.
- [5] HOLMQVIST, Kenneth a Marcus NYSTRÖM. *Eye tracking: a comprehensive guide to methods and measures*. 2011.
- [6] PLESHKOV, Maksim, Vasilii ZAITSEV, Dmitrii STARKOV, Vladimir DEMKIN, Herman KINGMA a Raymond VAN DE BERG. Comparison of EOG and VOG obtained eye movements during horizontal head impulse testing. *Frontiers in Neurology* [online]. 2022, **13**, 1905 [vid. 2023-03-20]. ISSN 16642295. Dostupné z: [doi:10.3389/FNEUR.2022.917413/BIBTEX](https://doi.org/10.3389/FNEUR.2022.917413/BIBTEX)
- [7] *Lidské oko | Eduportál Techmania* [online]. [vid. 2023-03-20]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/svetlo/lidske-oko>
- [8] *Bělíma (skléra) | Čočky-kontaktní.cz* [online]. [vid. 2022-12-20]. Dostupné z: <https://www.cocky-kontaktni.cz/slovník/belima-sklera.html>
- [9] *Rohovka - pojem | Slovník pojmů | Čočkyshop.cz* [online]. [vid. 2022-12-20]. Dostupné z: <https://www.cockyshop.cz/slovník-pojmu/rohovka>
- [10] *Cévnatka | Čočky-kontaktní.cz* [online]. [vid. 2022-12-20]. Dostupné z: <https://www.cocky-kontaktni.cz/slovník/cevnatka.html>
- [11] *Řasnaté tělísko | Čočky-kontaktní.cz* [online]. [vid. 2022-12-20]. Dostupné z: <https://www.cocky-kontaktni.cz/slovník/rasnate-telisko.html>
- [12] *Duhovka - pojem | Slovník pojmů | Čočkyshop.cz* [online]. [vid. 2022-12-20]. Dostupné z: <https://www.cockyshop.cz/slovník-pojmu/duhovka>

- [13] *Sítnice* | *Slovník pojmů* | *Lentiamo* [online]. [vid. 2022-12-20]. Dostupné z: <https://www.lentiamo.cz/slovník-pojmu/sitnice.html>
- [14] *čočka (uvnitř lidského oka)* | *NZIP* [online]. [vid. 2022-12-20]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/rejstrikovy-pojem/467>
- [15] *Co je sklivec?* [online]. [vid. 2022-12-20]. Dostupné z: <https://www.prvnioptika.cz/post/sklivec>
- [16] *přední komora oční* | *NZIP* [online]. [vid. 2022-12-20]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/rejstrikovy-pojem/2645>
- [17] EEKEN, Nova A. *Quantitative vs. qualitative: A comparison of methods for improved usability research*. B.m., 2017. Universiteit Utrecht.
- [18] *Designing with eye tracking in mind* | *Inside Design Blog* [online]. [vid. 2022-12-20]. Dostupné z: <https://www.invisionapp.com/inside-design/designing-with-eye-tracking-in-mind/>
- [19] ZAHARIA, Silvia, Daniela KAUCHE a Ella HARTUNG. Eye-tracking analysis of gender-specific online information research and buying behavior. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* [online]. 2017, **10294 LNCS**, 143–159 [vid. 2022-12-20]. ISSN 16113349. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-58484-3\_12/TABLES/4
- [20] Diplomová práce 2019 Linda Dufková. 2019.
- [21] *How to Conduct Eyetracking Studies* | *Nielsen Norman Group Report* [online]. [vid. 2022-12-21]. Dostupné z: <https://www.nngroup.com/reports/how-to-conduct-eyetracking-studies/>
- [22] CHYTKOVÁ, Dagmar a Michal ČERNÝ. *Efektivní učení: techniky přemýšlení, soustředění a komunikace s využitím myšlenkových map*. Brno: BizBooks, 2016. ISBN 978-80-265-0479-5.
- [23] *Princip nočního vidění* [online]. [vid. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.epuskohled.cz/princip-nocniho-videni>
- [24] SMRŽ, M. *Bezkontaktní měření teploty*. Brno, nedatováno. Vysoké učení technické v Brně. .
- [25] KADLEC, K. Teoretické základy bezdotykového měření teploty (část 1). nedatováno.

- [26] STUPŇANKOVÁ, M. *IR záření v současnosti*. B.m., 2009. Masarykova univerzita.
- [27] LUKÁŠ BRCHL. *Detekce zboží v ruce zákazníka pomocí analýzy snímků z termokamery*. Praha, 2017. České vysoké učení technické v Praze.
- [28] *Termokamera.cz Parametry termokamery - Termokamera.cz | Průvodcem světem termokamer* [online]. [vid. 2023-03-15]. Dostupné z: <http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/parametry-termokamery/>
- [29] *Termokamera.cz » Blog Archive Funkce termokamery - Termokamera.cz | Průvodcem světem termokamer* [online]. [vid. 2023-03-16]. Dostupné z: <http://www.termokamera.cz/funkce-termokamery/>
- [30] MALÍK, D. *Zpracování dat z termokamery*. Brno, 2012. Vysoké učení technické v Brně.
- [31] JAKL, O. *Experimentální měření s termovizní kamerou*. B.S. Brno, 2011. Vysoké učení technické v Brně.
- [32] *The STISIM driving simulator, ASL eye-tracking system (on the driver"s... | Download Scientific Diagram* [online]. [vid. 2023-03-20]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/1-The-STISIM-driving-simulator-ASL-eye-tracking-system-on-the-drivers-head-and\\_fig7\\_257936758](https://www.researchgate.net/figure/1-The-STISIM-driving-simulator-ASL-eye-tracking-system-on-the-drivers-head-and_fig7_257936758)
- [33] *Co je automobilové noční vidění a jak funguje? - Garáž.cz* [online]. [vid. 2023-03-16]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/co-je-automobilove-nocni-videni-a-jak-funguje-21005465>
- [34] *Tobii Pro Glasses 3 | Latest in wearable eye tracking - Tobii* [online]. [vid. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://www.tobii.com/products/eye-trackers/wearables/tobii-pro-glasses-3>
- [35] *Dotyková termokamera -20~550°C, IR 160×120px HikMicro M10 HIKVISION | E-shop | MB Calibr* [online]. [vid. 2023-03-20]. Dostupné z: [https://eshop.mbcCalibri.cz/termokamery/dotyková-termokamera-20-550--c-hikmicro-m10-hikvision/?gclid=CjwKCAjwiOCgBhAgEiwAjv5whEo7eF6P7YYPVHhe5TMvb632QgmVnfxOIjrM5i7XvddgA8m74fcb\\_yRoCLRkQAvD\\_BwE](https://eshop.mbcCalibri.cz/termokamery/dotyкова-termokamera-20-550--c-hikmicro-m10-hikvision/?gclid=CjwKCAjwiOCgBhAgEiwAjv5whEo7eF6P7YYPVHhe5TMvb632QgmVnfxOIjrM5i7XvddgA8m74fcb_yRoCLRkQAvD_BwE)

- [36] *Mapy.cz* [online]. [vid. 2023-03-24]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.6252330&y=49.8022514&z=8>
- [37] VideoFrenzel Video-oculography [online]. [vid. 2023-03-24]. Dostupné z: <https://www.rightspine.com/video-oculography/>
- [38] Princip nočního vidění [online]. [vid. 2023-03-24]. Dostupné z: <https://www.epuskohled.cz/princip-nocniho-videni>

## 9 Seznam obrázků

1.Obrázek	Původní přístroj k měření očních pohybů. Respondent při měření musel klidně sedět a nehýbat, zároveň nést váhu tohoto velkého přístroje. [1].....	5
2.Obrázek	Purkyňovy obrázky [4].....	7
3.Obrázek	Elektro-okulograf (EOG) [6] .....	8
4.Obrázek	Kontaktní čočka s drátěnou cívkou [4] .....	9
5.Obrázek	Brýle při záznamu VOG [37].....	10
6.Obrázek	Dual purkinje Image tracker (nahore) fixace hlavy v něm (dole) [4] .....	11
7.Obrázek	Mobilní eye-trackery od společností SR research (vpravo), Ergoneers (uprostřed) a Tobii (vpravo) [4].....	12
8.Obrázek	Struktura lidského oka [7].....	13
9.Obrázek	Fixace a sakády [4].....	16
10.Obrázek	Heatmapa zobrazující hierarchii vizuálních polí a preference uživatele [20].....	18
11.Obrázek	Popis principu noktovizoru (1. Přesná čočka; 2. Fotony; 3. Trubice fotonásobiče; 4. Destička s mikrokanálky; 5. Elektronky; 6. Zdroj vysokého napětí; 7. Fosforová obrazovka; 8. Okulár) .....	19
12.Obrázek	Porovnání třetí a čtvrté generace u Noktovizoru .....	20
13.Obrázek	Elektromagnetické spektrum s vyznačenými pásmy infračerveného záření .....	22
14.Obrázek	Porovnání různé tepelné citlivosti termokamer [28] .....	24
15.Obrázek	Rozdíl optického rozlišení u termokamer [28].....	25
16.Obrázek	Rozdíl zorného pole u termokamer [28].....	25
17.Obrázek	Funkce měřicí oblast funkce [29] .....	26
18.Obrázek	Funkce teplotní profil [29] .....	27
19.Obrázek	Funkce izoterma – Vlevo zobrazení Izoterma „teplota nad“ a vpravo zobrazení Izoterma „teplota pod“[29] .....	28
20.Obrázek	Jednoduché schéma hlavních konstrukčních částí termokamery[27] .....	29
21.Obrázek	Snímek bez aplikovaných korekcí signálu je vlevo, zatímco snímky se správnými algoritmy zpracování signálu aplikovanými na příslušné obvody jsou vpravo. [27] .....	30
22.Obrázek	Schéma bolometru [27] .....	31
23.Obrázek	Použití eye-trackingu v simulačních podmínkách [32] .....	33
24.Obrázek	Zobrazení aktivního systému [33].....	34
25.Obrázek	Zobrazení pasivním systémem [33].....	35
26.Obrázek	Tobii Pro 3 eye-trackingové brýle Zdroj: Vlastní .....	36
27.Obrázek	nahrávací jednotka eye-trackingových brýlí [34] .....	38
28.Obrázek	Kalibrační karta Zdroj-Vlastní .....	39
29.Obrázek	Termokamera HIKVISION [35].....	40
30.Obrázek	Ford Ranger Zdroj: Vlastní .....	41

31.Obrázek	Mapa Obory Sedlice Zdroj: Vlastní .....	42
32.Obrázek	Trasy měření – vpravo okruh Sedlické obory, vlevo venkovní okruh [36].....	43
33.Obrázek	Řidič č. 1 – Setkání Řidiče se zvěří – šero – Zdroj: Vlastní.....	45
34.Obrázek	Řidič č. 1 šero – porovnání reakční doby s termokamerou– Zdroj: Vlastní.....	46
35.Obrázek	Řidič č. 1 tma – porovnání reakční doby s termokamerou– Zdroj: Vlastní .....	47
36.Obrázek	Porovnání vnímání řidiče 1 při střetu s divokou zvěří– Zdroj: Vlastní.....	48
37.Obrázek	Porovnání celkového vnímání jízdy – řidič .1– Zdroj: Vlastní .....	49
38.Obrázek	Zaznamenaná myš na termokameře při jízdě řidiče 1– Zdroj: Vlastní .....	49
39.Obrázek	Řidič č. 2 šero – porovnání reakční doby s termokamerou – Zdroj: Vlastní .....	50
40.Obrázek	Řidič č. 2 tma – porovnání reakční doby s termokamerou– Zdroj: Vlastní .....	51
41.Obrázek	Porovnání vnímání řidiče 2 při střetu s divokou zvěří– Zdroj: Vlastní.....	52
42.Obrázek	Řidič 2 - Porovnání celkového vnímání jízdy – Zdroj: Vlastní.....	53
43.Obrázek	Řidič č. 3 šero – porovnání reakční doby s termokamerou– Zdroj: Vlastní.....	54
44.Obrázek	Řidič č. 3 tma – porovnání reakční doby s termokamerou– Zdroj: Vlastní .....	55
45.Obrázek	Řidič 3 - Porovnání celkového vnímání jízdy – Zdroj: Vlastní.....	56
46.Obrázek	Řidič 3 - Porovnání celkového vnímání jízdy – Zdroj: Vlastní.....	57



## 10 Seznam tabulek

Tabulka 1	Obecné rozdělení oblastí infračerveného záření [27] .....	22
Tabulka 2	Zkušeností respondentů.....	42