

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta
Katedra vozidel a pozemní dopravy



Diplomová práce
Ergonomie a její vliv na pozornost řidiče

Bc. Petr Hříděl

© 2024 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Petr Hříděl

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Ergonomie a její vliv na pozornost řidiče

Název anglicky

Ergonomics and its influence on the driver's attention

Cíle práce

Cílem práce bude vytvořit přehled problematiky ergonomie a jejího vlivu na pozornost řidiče a provést vlastní zhodnocení tohoto vlivu pomocí snímání oční aktivity řidiče při plnění předem stanovených úkolů.

Metodika

Metodika řešené problematiky diplomové práce je založena na studiu a analýzách odborných informačních zdrojů. Praktická část práce se bude věnovat měření oční aktivity za pomoci Eye-trackingových brýlí Tobii Pro Glasses 3, které bude zaměřeno na závislost ergonomie vozidla a pozornost řidiče. Na základě rozboru teoretických poznatků a výsledků měření budou formulovány závěry diplomové práce.

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

Doporučený rozsah práce

50 – 60 stran

Klíčová slova

Pozornost řidiče, ergonomie, tobii pro glasses

Doporučené zdroje informací

- CCOHS (Canadian Centre for Occupational Health and Safety). (2018, August 31). Driving and Ergonomics. OSH Answers Fact Sheets.
- Dou, J., Xu, C., Chen, S., Xue, C., & Li, X. (2022). AR HUD Interface Optimization Model for Balancing Driver's Visual Sensitivity and Fatigue. *Procedia Computer Science*, 214, 1568–1580. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2022.11.345>
- Duchowski, T., A. -Eye Tracking Methodology, Theory and Practice. Springer Cham, 2017. ISBN 978-3-319-57881-1
- Dutta, A., & Rathore, A. P. S. (2020). Estimating Ergonomic Compatibility of Cars: A Fuzzy Approach. *Procedia Computer Science*, 167, 506–515.
- Holmqvist K., Andersson R. – Eye tracking: A comprehensive guide to methods, paradigms, and measures. Createspace Independent Publishing Platform, 2017. ISBN: 1979484899
- Mahachandra, M., Yassierli, & Garnaby, E. D. (2015). The Effectiveness of In-vehicle Peppermint Fragrance to Maintain Car Driver's Alertness. *Procedia Manufacturing*, 4, 471–477.
- 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.
- 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

2023/2024 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Veronika Hartová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 17. 1. 2023

doc. Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8. 3. 2023

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 27. 02. 2024

Čestné prohlášení

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

V Praze dne 26.3.2024



Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval své vedoucí diplomové práce paní Ing. Veronice Hartové, Ph.D., za poskytnutí odborných rad, ochotu pomoci a milý přátelský přístup.

Ergonomie a její vliv na pozornost řidiče

Abstrakt

Tato diplomová práce řeší problematiku ergonomie a jejího vlivu na pozornost řidiče. K jejímu řešení byla použita metoda eye trackingu v podobě eye-trackingových brýlí Tobii Pro Glasses 3 a souvisejících zařízení a softwarů pro záznam a zpracování měřených dat. Provedeným výzkumem byl vytvořen teoretický přehled řešené problematiky a bylo realizováno a vyhodnoceno měření ergonomie vybraných ovladačů tří různých vozidel rozličného věku, typu a výrobce. Hlavním výsledkem práce je komplexní pohled na problematiku ergonomie a pozornosti řidiče, a to jak z teoretického, tak praktického hlediska v rámci porovnání dosažených výsledků měření jednotlivých vozidel a jejich finálního vyhodnocení. Ze všech zkoumaných vozů vyšla nejlépe Honda CR-V Hybrid, a to jak v ohledu nejvyšší celkové úspěšnosti plnění úkolů respondenty, tak v nejnižším průměrném čase úspěšného splnění úkolu. Vzhledem k tomu, že vítěz je nejnovější ze zkoumaných vozů, je jasně vidět, že vývoj ergonomie ovládacích prvků vozidel se ubírá správným směrem.

Klíčová slova: Pozornost řidiče, ergonomie, Tobii Pro Glasses 3

Ergonomics and its influence on the driver's attention

Abstract

This thesis deals with the issue of ergonomics and its influence on the driver's attention. To solve it, the eye tracking method was used in the form of Tobii Pro Glasses 3 eye-tracking glasses and related devices and software for recording and processing measured data. Throughout the conducted research, a theoretical overview of the problem was created, and ergonomic measurements of selected controllers of three distinct vehicles of different ages, types, and manufacturers were implemented and evaluated. The main result of the thesis is a comprehensive view of the issue of ergonomics and driver's attention, both from a theoretical and practical point of view within the framework of comparing the achieved measurement results of individual cars and their final evaluation. Of all the examined cars, the Honda CR-V Hybrid came out the best, both in terms of the highest overall success in completing tasks by the respondents and in the lowest average time to successfully complete the task. Since the winner is the newest of the surveyed cars, it is clear to see that the development of the ergonomics of vehicle controls is moving in the right direction.

Keywords: Driver's attention, ergonomics, Tobii Pro Glasses 3

Obsah

1 Úvod	1
2 Cíl práce.....	2
3 Metodika práce	3
4 Přehled řešené problematiky	4
4.1 Ergonomie obecně	4
4.1.1 Domény HFE	5
4.1.2 Principy HFE	7
4.1.3 Perspektivy HFE.....	7
4.1.4 Podílení se na návrhu systému	8
4.1.5 Zainteresované strany HFE	8
4.1.6 Hodnota HFE ve světě práce	9
4.2 Ergonomie ve vozidlech	9
4.2.1 Ovládací prvky, displeje a rozvržení interiéru.....	13
4.2.1.1 Ovládací prvky	15
4.3 Pozornost řidiče	19
4.3.1 Vnější incident.....	20
4.3.2 Sledování krajiny	20
4.3.3 Pasážeri	21
4.3.4 Zábavní systém	21
4.3.5 Mobilní telefony	22
4.3.6 Systémy navádění trasy	23
4.3.7 Ovládací prvky vozidla.....	24
4.4 Sledování pohybu očí (Eye tracking).....	24
4.4.1 Lidské oko	24
4.4.2 Fixace a sádky.....	27
4.4.3 Metody sledování pohybu očí.....	29
4.4.3.1 Historie	29
4.4.3.2 Metody	31
5 Praktická část práce	35
5.1 Použité vybavení.....	35
5.1.1 Eye-trackingové brýle Tobii Pro Glasses 3	35
5.1.2 Záznamová jednotka.....	36
5.1.3 Kalibrační karta	36
5.1.4 Notebook s aplikací Glasses 3	37
5.1.5 Automobily	37
5.1.5.1 Volkswagen Caddy	37

5.1.5.2	Honda CR-V (Compact Recreational Vehicle).....	38
5.1.5.3	Honda CR-V Hybrid	39
5.2	Respondenti	39
5.3	Metodika měření	41
5.4	Zpracování výsledků.....	42
6	Výsledky a diskuze.....	43
6.1	Volkswagen Caddy	43
6.2	Honda CR-V	46
6.3	Honda CR-V Hybrid.....	48
6.4	Porovnání vozidel	51
7	Závěr	53
8	Seznam použitých zdrojů	54

Seznam obrázků

Obrázek 1: Faktory domén HFE (Zdroj: [1])	7
Obrázek 2: Pracovní systém HFE (Zdroj: [1])	9
Obrázek 3: Rozhraní mezi lidskou obsluhou a strojem (Zdroj: [16]).....	14
Obrázek 4: Dotyková obrazovka (Zdroj: [16]).....	17
Obrázek 5: Otočný spínač teploty (Zdroj: [16])	18
Obrázek 6: Multifunkční otočný spínač (Zdroj: [16]).....	18
Obrázek 7: Struktura lidského oka (Zdroj: [25]).....	25
Obrázek 8: Mikropohyby probíhající během fixací (Zdroj: [25])	27
Obrázek 9: Fixace a sádky (Zdroj: [25]).....	28
Obrázek 10: Purkyňovy obrázky (Zdroj: [25]).....	30
Obrázek 11: EOG (Zdroj: [35]).....	32
Obrázek 12: Kontaktní čočka s drátěnou cívkou (Zdroj: [25])	33
Obrázek 13: Sledovač limbu (Zdroj: [25])	34
Obrázek 14: Mobilní eye-trackery (Zdroj: [25])	34
Obrázek 15: Tobii Pro Glasses 3 (Zdroj: [37]).....	35
Obrázek 16: Záznamová jednotka (Zdroj: [37]).....	36
Obrázek 17: Kalibrační karta (Zdroj: [38])	37
Obrázek 18: Volkswagen Caddy (Zdroj: [40]).....	38
Obrázek 19: Honda CR-V (Zdroj: [41]).....	38
Obrázek 20: Honda CR-V Hybrid (Zdroj: [42]).....	39

Obrázek 21: Respondent 1, úkol 9, Volkswagen Caddy teplotní mapa (Zdroj: Vlastní).....	45
Obrázek 22: Respondent 1, úkol 9, Volkswagen Caddy fixace a sakády (Zdroj: Vlastní)	45
Obrázek 23: Respondent 17, úkol 2, Honda CR-V teplotní mapa (Zdroj: Vlastní)	47
Obrázek 24: Respondent 17, úkol 2, Honda CR-V fixace a sakády (Zdroj: Vlastní)	47
Obrázek 25: Respondent 13, úkol 11, Honda CR-V Hybrid teplotní mapa (Zdroj: Vlastní)...	50
Obrázek 26: Respondent 13, úkol 11, Honda CR-V Hybrid fixace a sakády (Zdroj: Vlastní).	50

Seznam tabulek

Tabulka 1: Respondenti (Zdroj: Vlastní).....	40
Tabulka 2: Volkswagen Caddy výsledky měření (Zdroj: Vlastní).....	44
Tabulka 3: Honda CR-V výsledky měření (Zdroj: Vlastní).....	46
Tabulka 4: Honda CR-V Hybrid výsledky měření (Zdroj: Vlastní).....	49
Tabulka 5: Volkswagen Caddy celkové výsledky (Zdroj: Vlastní)	51
Tabulka 6: Honda CR-V celkové výsledky (Zdroj: Vlastní).....	51
Tabulka 7: Honda CR-V Hybrid celkové výsledky (Zdroj: Vlastní)	51

Seznam použitých zkratek

ABS (Anti-lock Braking System)

BLIS (Blind Spot Information System)

CR-V (Compact Recreational Vehicle)

EOG (Elektro-OculoGraphy)

ESC (Electronic Stability Control)

ESP (Electronic Stability Program)

GPS (Global Positioning System)

HFE (Human Factors Engineering)

HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning)

IEA (International Ergonomics Association)

Li-ion (Lithium-iontová)

NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration)

POG (Photo-OculoGraphy)

SD (Secure Digital)

USA (United States of America)

VoC (Voice of Customers)

VOG (Video-OculoGraphy)

VSA (Vehicle Stability Assist)

1 Úvod

Ergonomie je nepostradatelná ve všech aspektech designu a hraje velmi důležitou roli ve veškerých moderních produktových návrzích. Podle IEA (International Ergonomics Association) je ergonomie pochopení interakcí mezi lidmi a dalšími prvky systému. Zvažuje různé aspekty člověka, jako je jeho fyzická, fyziologická a psychologická stránka. Spojuje principy související s průmyslovým inženýrstvím, antropometrií (systém měření a sledování těla člověka a jeho součástí), biomechanikou a psychologií. Aplikace ergonomie při vývoji produktů vede k tomu, že produkty mají lepší bezpečnost, efektivitu a pohodlí uživatele. Pro produkt, jako je osobní automobil, má aplikace ergonomie vynikající a významné důsledky. Ergonomický vůz zásadně přispívá k bezpečnosti svých pasažérů, ale i ostatních kolemjedoucích vozidel a jejich posádek. [1, 2]

Téma ergonomie je velmi důležité pro bezpečnost dopravy. Je zásadní, aby design vozidla byl navržený tak, aby co nejvíce podporoval pozornost, bdělost a pohodlí řidiče. Pohodlí je velmi důležitým bodem ergonomie. Řidič, který se cítí v kabině vozu pohodlně, není rozptylován vnějšími vlivy, které se přímo netýkají řízení a může se tak 100 % věnovat sledování vozovky a ovládání vozidla. Zásadní je také rozvržení a umístění ovládacích prvků vozidla. Důležitá je jejich maximální možná přehlednost a přístupnost, aby řidič mohl rychle a bezprostředně najít přesně to, co zrovna potřebuje, aniž by byl nucen odtrhnout pozornost od vozovky na delší dobu, než je nezbytně nutné.

Touto problematikou se zabývá praktická část diplomové práce, která zkoumá vhodnost rozvržení ovládacích prvků kabiny několika rozličných osobních automobilů za pomoci inteligentních brýlí Tobii Pro Glasses 3.

Motivací pro tvorbu diplomové práce je průzkum problematiky ergonomie a porovnání vhodnosti rozvržení ovládacích prvků tří osobních automobilů různého stáří a výrobce. Na experimentu se budou podílet lidé různého pohlaví, věku a řidičských zkušeností vyjádřených v rámci let řízení. Pointou je zjistit, zdali jsou vybrané ovládací prvky vhodně umístěny tak, aby je dokázal rychle najít i méně zkušený řidič a zjistit jaký automobil dosáhne nejlepších výsledků. Podle toho pak proběhne porovnání automobilů a finální vyhodnocení experimentu.

2 Cíl práce

Hlavním cílem této diplomové práce je teoreticky rozebrat ergonomii ve vozidlech a její vliv na pozornost řidiče.

Dílčími cíli práce jsou teoreticky zpracovat ergonomii obecně, pozornost řidiče ve vozidle včetně faktorů způsobujících rozptýlení pozornosti řidiče jak uvnitř, tak v okolí vozidla. Dále vytvořit teoretickou analýzu sledování pohybu očí neboli eye tracking, metody sledování pohybu očí a historický vývoj této technologie.

Teoretický základ diplomové práce bude sloužit ke zpracování praktické části práce. Vybraní respondenti různého pohlaví, věku a řidičských zkušeností se budou podílet na experimentu měření interiéru třech různých aut za pomoci eye-trackingových brýlí Tobii Pro Glasses 3 a následně dojde ke zpracování a vyhodnocení naměřených dat.

3 Metodika práce

Na základě teoretického rozboru literatury s ohledem na bezpečnost experimentu a zúčastněných respondentů budou při stání nenastartovaného automobilu zkoumány vybrané ovládací prvky za pomoci eye-trackingových brýlí Tobii Pro Glasses 3 a bude se posuzovat vhodnost jejich umístění a dostupnosti pro řidiče.

Měření proběhne v prostorách Technické fakulty České zemědělské univerzity v Praze a na soukromém pozemku ve vesnici Libeň v obci Libeň za účasti třiceti respondentů.

Bude vybráno 12 úkolů, které se pokusí respondenti v rámci měření splnit a jejich pořadí bude změněno pro každé z testovaných vozidel, aby nedošlo k ovlivnění měření tímto způsobem.

Samotné měření proběhne vždy za účasti 1 respondenta, který bude postaven do role řidiče. Respondent usedne na místo řidiče a bude vybaven eye-trackingovými brýlemi. Před každým dílčím měřením dojde ke kalibraci brýlí. Následně se zapne záznam a respondentovi budou postupně zadávány úkoly, na jejichž splnění bude mít vždy 30 sekund.

Jednotlivé úkoly budou hodnoceny počtem sekund, za které respondent stihl úkol splnit nebo hodnocením „Nenašel“ pokud úkol nesplní nebo mu vyprší stanovený čas. Tímto způsobem respondent vždy vykoná 3 měření na třech různých vozidlech (stále ve stejném pořadí) a následně bude na řadě další respondent.

Jakmile bude měření kompletně hotové, dojde ke zpracování a finálnímu zhodnocení naměřených dat a sepsání výsledků práce.

4 Přehled řešené problematiky

Tato část diplomové práce se zabývá teoretickými poznatky potřebnými k pochopení zkoumané problematiky a zpracování praktické části práce.

4.1 Ergonomie obecně

Ergonomie neboli nauka o práci je slovní spojení řeckých slov ergo = práce a nomos = pravidlo. Jedná se o vědní disciplínu, která se zabývá vztahem mezi člověkem, technikou a prostředím. Cílem ergonomie je najít ideální vztah mezi psychickou a fyzickou zátěží na člověka a zaručit tak vývoj jeho osobnosti při co nejvyšší účinnosti jím vykonávané práce. [1, 3]

Ergonomie studuje vztah mezi jednotlivcem a jeho pracovními podmínkami na základě nejnovějších poznatků v oblasti biologie, technologie a společenských věd. Jejím hlavním cílem je dosažení optimálního postavení jednotlivce v rámci pracovního prostředí s důrazem na jeho zdraví, pohodu, bezpečnost a komfort v souladu s dosažením jeho optimální pracovní výkonnosti. [3]

Příspěvá k navrhování a hodnocení práce, úkolů, produktů, prostředí a systémů tak, aby byly přizpůsobeny potřebám, schopnostem a omezením lidí v jejich výkonnosti. Je to systematický přístup, který cílí na veškeré aspekty lidských činností a aktivit. [3]

Ergonomie je mezioborově zaměřená akademická činnost, která byla vytvořena sloučením několika aplikovaných věd. Jejich společným znakem je předmět jejich studia, tedy pracovní systémy. Obory zahrnuté v ergonomii jsou antropometrie, biomechanika, psychologie, filozofie a hygiena práce. [3]

Hlavním předmětem oblasti výzkumu ergonomie jsou pracovní kapacity člověka a problematika jeho reakcí a adaptace na pracovní podmínky. Pracovní kapacity nebo také determinanty výkonnosti zahrnují například tělesné rozměry člověka, rozsahy pohybu jeho těla a končetin, jeho fyzickou sílu, kvalitu jeho sluchu, zraku a jeho mentální kapacitu. [3]

Problematika schopnosti adaptace a reakcí člověka na jeho pracovní podmínky pak zahrnuje například práci na směny, noční směny, nucené tempo práce a reakce lidského těla na biologické, fyzikální a chemické faktory, kterými na něj může působit prostředí pracoviště. Mezi takové faktory se řadí například teplota na pracovišti, přítomnost prachu, hluku a vibrací. [3]

Znalosti získané studiem ergonomie následně slouží k vytvoření ergonomických parametrů a kritérií určených pro rozmanité pracovní systémy napříč obory. Tyto systémy jsou pak uvedeny do oběhu jakožto publikace v právních předpisech a jejich primárním cílem je ochrana zdraví zaměstnanců. [3]

Dle definice ergonomie přijaté IEA v roce 2000 je ergonomie vědní disciplína zabývající se pochopením interakcí mezi lidmi a dalšími prvky systému a profese. Aplikuje teorii, principy, data a metody při navrhování s cílem optimalizovat lidskou pohodu a celkový výkon systému. [1]

Pojmy ergonomie a lidské faktory se často používají zaměnitelně nebo jako celek, což je praxe, kterou přijala IEA. Lidské faktory a ergonomie se běžně označují jako inženýrství lidských faktorů nebo HFE (Human Factors Engineering). [1]

4.1.1 Domény HFE

Fyzická ergonomie se zabývá lidskými anatomickými, antropometrickými, fyziologickými a biomechanickými charakteristikami ve vztahu k fyzické aktivitě. Relevantní témata zahrnují pracovní polohy, manipulaci s materiálem, opakované pohyby, muskuloskeletální poruchy související s prací, uspořádání pracoviště, fyzickou bezpečnost a zdraví. [1]

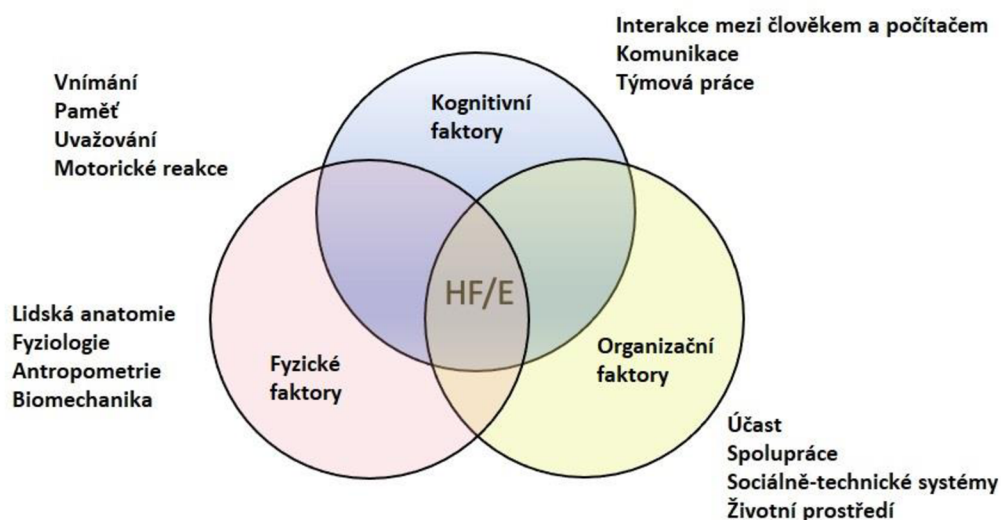
Kognitivní ergonomie se zabývá mentálními procesy, jako je vnímání, paměť, uvažování a motorická reakce. Mentální procesy ovlivňují interakce mezi lidmi a dalšími prvky systému. Relevantní témata zahrnují duševní zátěž při práci, rozhodování, kvalifikovanou výkonnost, interakci člověka s počítačem, lidskou spolehlivost, pracovní stres a školení. [1]

Organizační ergonomie se zabývá optimalizací sociotechnických systémů, včetně jejich organizačních struktur, politik a procesů. Relevantní témata zahrnují komunikaci, řízení zdrojů posádky, návrh práce, participativní design, ergonomii komunity, kooperativní práci, nové pracovní modely, virtuální organizaci, práci na dálku a řízení kvality. [1]

Přestože praktici HFE často pracují v konkrétních ekonomických sektorech, průmyslových odvětvích nebo aplikačních oblastech, věda a praxe HFE nejsou doménově specifické. HFE je multidisciplinární na uživatele zaměřená integrující věda. [1]

Problémy, kterými se HFE zabývá jsou typicky systémové povahy, proto používá komplexní systémový přístup k aplikaci teorie, principů a dat z mnoha relevantních oborů na návrh a hodnocení úkolů, pracovních míst, produktů, prostředí a systémů. Bere v úvahu fyzické, kognitivní, environmentální a další relevantní faktory, stejně jako komplexní interakce mezi člověkem a ostatními lidmi, prostředím, nástroji, produkty, vybavením a technologií. Jednotlivé faktory domén HFE jsou vidět na obrázku 1. [1]

Obrázek 1: Faktory domén HFE (Zdroj: [1])



Aby mohli odborníci na lidské faktory a ergonomii, kteří jsou specialisty v dané oblasti nebo disciplíně, efektivně pracovat musí řešit problémy a výzvy s dostatečným zvážením všech relevantních prvků HFE. To předpokládá široké pochopení všech oblastí HFE. Skutečné řešení problémů však vyžaduje nejen participativní přístup prostřednictvím konzultací se specialisty HFE, ale také se specialisty v dalších relevantních oblastech. [1]

4.1.2 Principy HFE

Principy HFE jsou zakořeněny v esenciálních základních a sociotechnických hodnotách. Základními hodnotami jsou lidé coby majetek; technologie jako nástroj pomoci lidem; podpora kvality života; respekt k individuálním rozdílům a odpovědnost vůči všem zúčastněným. Principy a metodiky participativního designu HFE se vztahují na návrh úkolů, pracovních míst, produktů, prostředí, odvětví a typů práce. [1, 4]

4.1.3 Perspektivy HFE

HFE zahrnuje nejen fyzickou bezpečnost a zdraví, ale také kognitivní a psychosociální aspekty života a práce. Kromě toho se HFE může zaměřit na mikro-ergonomické aspekty designu včetně návrhu postupů, kontextu, vybavení a nástrojů používaných k provádění úkolů. HFE se může také zaměřit na makro-ergonomické aspekty designu včetně organizace práce; typů pracovních míst; používání technologií, pracovních rolí, komunikace a zpětné vazby. [1, 4]

Na tyto různé aspekty nelze pohlížet izolovaně. HFE odráží holistický pohled na design produktů a systémů s ohledem na vzájemnou provázanost lidských, technických a environmentálních komponent a potenciální dopady změn návrhu systému na všechny jeho části. [1]

4.1.4 Podílení se na návrhu systému

HFE přispívá k bezpečným a udržitelným systémům prostřednictvím jedinečné kombinace tří hlavních hnacích sil pro zásah. 1. používá systémový přístup využívající systematický postup krok za krokem, 2. je řízeno návrhem a 3. zaměřuje se na optimalizaci dvou úzce souvisejících výsledků, výkonu a pohody. [1, 4]

Odborníci na HFE uznávají potřebu účasti všech skupin zainteresovaných stran neboli participativních lidských faktorů a ergonomie při navrhování systému. Efektivní HFE je nepostradatelná pro podporu našeho života a práce ve 21. století, bez ohledu na HFE nebude návrh systému podporovat udržitelnost práce, organizací ani společností. [1]

4.1.5 Zainteresované strany HFE

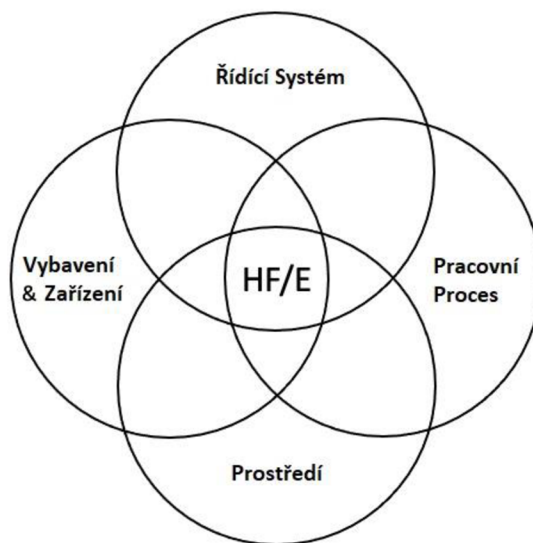
Jakákoli osoba nebo skupina lidí, která může ovlivnit, být ovlivněna nebo se vnímat jako ovlivněná rozhodnutím nebo činností HFE, je zainteresovanou stranou HFE. Zainteresované strany jsou vzájemně propojené a patří mezi ně skupiny ovlivňující systém (kompetentní úřady, vlády, regulační orgány, normalizační organizace na národní a regionální úrovni), osoby s rozhodovací pravomocí v systému (zaměstnavatelé, manažeři), systémoví experti (profesionální HFE specialisté, inženýři, psychologové) a aktéři systému (zaměstnanci, pracovníci, uživatelé produktů či služeb). [1, 5]

Zainteresované strany pro HFE mohou představovat mnoho úrovní, domén a typů vlivu a investic. Mezinárodní úroveň zahrnuje regulační úředníky, tvůrce politik a mezinárodní nevládní organizace. Národní úroveň se sestává z vlády, zákonodárců, tvůrců politik, regulátorů a národních nevládních organizací. Vzdělávací úroveň představuje university, programy aplikovaných věd, odborné vzdělávání, profesory, učitele a studenty. Úroveň praxe má pod sebou generální ředitele a manažery ve společnostech, návrháře práce a pracovních systémů v různých odborech a praktiky v oblastech relevantních pro HFE. [1]

4.1.6 Hodnota HFE ve světě práce

Pracovní systémy jsou tvořeny lidmi, nástroji, procesy, technologiemi a pracovním prostředím. HFE přispívá k vytváření bezpečných a udržitelných pracovních systémů tím, že zvažuje vzájemnou provázanost lidských, technických a environmentálních složek a potenciální dopady změn návrhu pracovního systému. Pracovní systém HFE je vidět na obrázku 2. Členové komunity HFE uznávají potřebu účasti všech zúčastněných stran ve skupinách pro návrh systému. [1]

Obrázek 2: Pracovní systém HFE (Zdroj: [1])



HFE současně přispívá k ekonomickému zdraví organizací pomocí zvyšování pohody, schopností a udržitelnosti pracovníků. Takto maximalizuje výkon a snižuje přímé i nepřímé náklady způsobené ztrátou produktivity, nedostatkem kvality zaměstnanců. Pracoviště, která jsou navržena podle zásad HFE, mají zpravidla vyšší výkon zaměstnanců a produkují lepší ekonomické výsledky. [1, 6]

4.2 Ergonomie ve vozidlech

Řízení je komplexní úkol, který zahrnuje ostré smyslové vnímání, vidění, koordinaci rukou a nohou a rychlé motorické reflexy. Ergonomický design vozidla může výrazně zvýšit soustředění a pozornost řidiče a snížit četnost jeho chyb při řízení. [2]

Současný výzkum se zaměřuje na vývoj matematického modelu pro odhad ergonomického indexu neboli kompatibility automobilu. To zahrnuje identifikaci hlavních ergonomických atributů a zachycení hlasu zákazníků VoC (Voice of Customers) ze spotřebitelského průzkumu za účelem nalezení hodnocení důležitosti jednotlivých atributů a jejich následné seskupení do různých faktorů. [2]

Následuje klasifikace každého atributu do podkategorií, výpočet skóre atributu, skóre faktoru, a nakonec aplikace mlhavého inferenčního systému (Fuzzy Inference system) pro získání ergonomického indexu automobilu. Tento výzkum poskytuje novou metodu pro jedinečné stanovení ergonomického indexu, kterou mohou použít automobiloví designéři a výrobci pro zlepšení ergonomie automobilů a potenciální kupující pro výběr svého nového vozu pomocí tohoto indexu jakožto měřítka pro porovnání vozidel. [2]

Ergonomie vozu má dlouhodobé důsledky z hlediska rizik spojených s muskuloskeletálními poruchami v bederní oblasti. Během jízdy by měla být bederní část zad správně podepřena a opěradlo by mělo být správně skloněné, aby se snížil tlak na páteřní ploténky a uvolnily se zádové svaly. [2, 7, 8]

Ergonomická kompatibilita automobilu se těžko kvalifikuje. Jedním z důvodů je, že na ergonomii a bezpečnosti vozu se společně podílejí různé faktory. Tyto faktory jsou předmětem studia a diskusí mnoha výzkumníků. Během procesu nákupu nového vozidla zákazníci považují bezpečnostní faktory, jako jsou pokročilé brzdové systémy, airbagy a stabilita za mnohem důležitější než ostatní. Spotřebitelé také považují za důležité funkce protiblokovací brzdový systém ABS (Anti-lock Braking System), systém hlídání mrtvých úhlů BLIS (Blind Spot Information System) a varování před kolizí s automatickým brzdovým systémem. [2, 9]

Výzkumníci zjistili, že vozidla, která jsou vybavená zadní kamerou a parkovacím asistentem založeným na sensorovém systému, snížila pravděpodobnost srážky při couvání, zejména pokud jsou spárována s vhodným systémem. Různé technologie, které byly považovány za důležité pro bezpečnou a pohodlnou jízdu, jsou elektronický stabilizační program ESC (Electronic Stability Control), varování před opuštěním jízdního pruhu, varování před kolizí s automatickým brzděním, varování před slepými zónami, asistent nouzového brzdění a adaptivní světlomety. [2, 10, 11]

Během noční jízdy oslnění způsobené světlomety protijedoucích vozidel částečně znemožňuje řidiči vidění, což vede k nepřesným úsudkům. Mezi další problematické úkoly patří seřízení sedadla vozidla, přístup k ovládacím prvkům, nastupování a vystupování, nastavení opěrky hlavy a výšky sedadla, otáčení hlavy a těla pro couvání vozidla, zvedání kapoty a otevírání nebo zavírání zavazadlového prostoru. [2, 10, 11]

Dalším důvodem, proč je ergonomická kompatibilita obtížně klasifikovatelná, je lidská reakce, která není vždy konzistentní. Každý člověk je unikátní a chová se jinak než ostatní. Navíc ani jeden stejný člověk se nemusí ve stejné situaci zachovat vždy stejně. To vytváří situaci, která je nejistá a složitá. K řešení takových nejistot se používají principy mlhavé logiky (Fuzzy Logic). Mlhavá logika nabízí metodu, jak se vypořádat se situacemi, kdy dochází k zrnitosti informací a následné nepřesnosti. [2, 12–15]

Mlhavé množiny (fuzzy sets) jsou užitečné, protože dokážou modelovat nejistá nebo nejednoznačná data z reálného života. Poskytují režim umožňující simulaci lidského uvažování. Proměnná je považována za mlhavou, pokud existuje nejistota způsobená nepřesností nebo nezřetelností a je popsána funkcí příslušnosti. Výzkumníci použili mlhavou techniku k odvození závěru o potřebách zákazníků a vlastnostech produktů v automobilovém průmyslu. [2, 12–15]

Výzkum pro zlepšení ergonomie automobilu probíhá, ale důkazy pro odhad ergonomické kompatibility automobilu se nepodařilo zatím přesně dohledat. V tomto výzkumu byl vyvinut matematický model pro odhad ergonomické kompatibility automobilu. Za tímto účelem bylo z literárních přehledů identifikováno 22 klíčových ergonomických atributů automobilu. Hlas zákazníků VoC o těchto attributech byl shromážděn ze spotřebitelského průzkumu a bylo vypočteno hodnocení důležitosti atributů, na jehož základě byly dané atributy příslušně upřednostněny. [2]

Těchto 22 atributů bylo shromážděno do tří faktorů. Následně byly pro konkrétní model a variantu vozu ve všech třech faktorech vypočteny v % následující údaje: normalizovaná důležitost atributu, ergonomické skóre atributu, skóre atributu, hodnocení faktoru, normalizovaná důležitost faktoru a skóre faktoru. Nakonec byl použit mlhavý inferenční systém, jehož výstupem je ergonomický index automobilu. [2]

Oněch 22 ergonomických atributů stanovených pro určení ergonomické kompatibility automobilu bylo seskupeno do třech hlavních ergonomických faktorů na základě jejich účinků. Byly pojmenovány jako faktor celkové bezpečnosti (8 atributů), muskuloskeletální faktor neboli faktor dosahu (6 atributů) a kompatibilní rozhraní člověk-stroj neboli faktor komfortu (8 atributů). [2]

Ergonomické atributy celkové bezpečnosti jsou airbagy; brzdový asistent s automatickou nouzovou brzdou; senzor detekce únavy; podpora jízdy v kopcovitém terénu; rychlejší navigační bezpečnostní pásy; GPS (Global Positioning System) navigace a asistence; senzor intenzity osvětlení hlavy, automatický stmívač, stěrače s dešťovým senzorem a mlhová světla. [2]

Součástí muskuloskeletálního faktoru jsou dvouosý nastavitelný posilovač řízení; kamera pro pohyb při zpátečce a indikátory boční a zadní vůle; senzory zamykání dveří, ovládání všech dveří a dětský zámek v blízkosti řidiče; často používané ovládací prvky na řízení; snadné ovládání motoru kapoty, palivové nádrže a kufry; kompatibilní sedadlo řidiče s tříosým nastavením a pohodlnými sedadly spolujezdce. [2]

Poslední jsou atributy spadající do faktoru kompatibility rozhraní člověk-stroj, tedy cirkulace vzduchu, účinnost chlazení a regulace vlhkosti; automatická převodovka; dostatečný prostor pro hlavu, kolena a nohy pro řidiče a spolujezdce; účinné tlumiče a tlumení vibrací; účinný systém zvukové izolace a Bluetooth (standard pro bezdrátovou komunikaci mezi dvěma a více zařízeními) kompatibilita pro telefon a audio, a nakonec sklo a zrcadlo s ochranou proti oslnění. [2]

V současném konkurenčním scénáři je nutné, aby se všichni výrobci automobilů a automobiloví designéři zabývali všemi ergonomickými faktory. Integrovaného ergonomického designu vozu lze dosáhnout procesem návrhu, kde je současně postaráno jak o stranu motoru, tak o stranu uživatele. Tyto výsledky mohou také využít výrobci a automobiloví designéři k udržení náskoku v konkurenci hodnocení a zlepšování ergonomických vlastností automobilu a k jedinečnému definování ergonomické kompatibility vozidla. [2]

Výsledky získané pro ergonomickou kompatibilitu automobilu lze použít jako měřítko pro srovnávání vozidel. Tento přístup modelu zaměřeného na uživatele s ohledem na preference zákazníka by mohl být přizpůsoben mnoha produktům a službám, protože potřeba a reakce jednotlivých změn v čase a model založený na mlhavém přístupu může sloužit potřebám velké části společnosti po dlouhou dobu. [2]

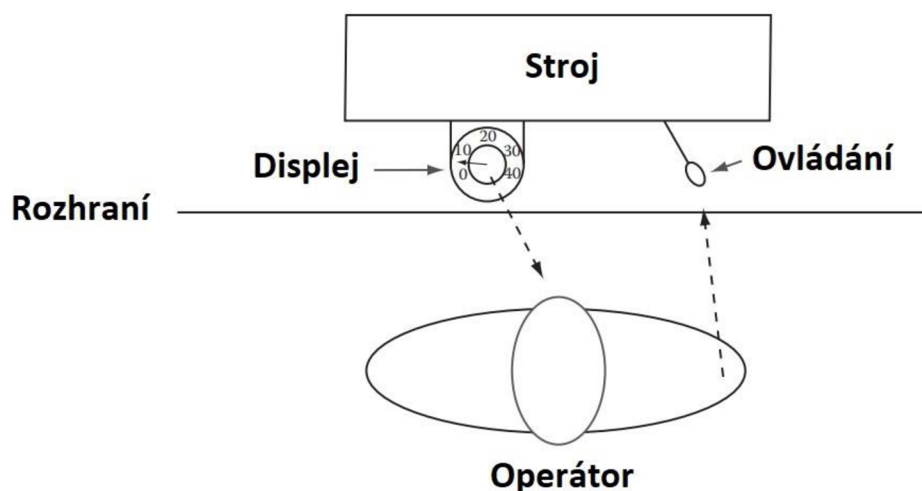
4.2.1 Ovládací prvky, displeje a rozvržení interiéru

Řidič získává dostupné informace z různých displejů a generuje výstupy pro ovládání pohybu vozidla a změnu stavů různých zařízení ve vozidle. K získání informací z displejů a ovládání řídicích prvků využívá řidič různé možnosti zpracování informací a aktivace ovládání. V závislosti na úrovních různých schopností a dostupných zdrojů může nebo nemusí řidič provést vhodnou kontrolní akci. Doba, kterou řidič potřebuje k provedení kontrolní akce, bude také záviset na množství informací, které bude řidič potřebovat zpracovat, a na jeho schopnostech zpracování informací. Pokud ovládací prvky a displeje nejsou navrženy pro snadné provádění těchto úkolů, řidič nemusí být schopen dokončit úkoly v dostupném čase nebo může dělat chyby. [16]

Výzkum designu ovládacích prvků a displejů začal studii chyb pilotů. Brzy po druhé světové válce zahájilo letectvo systematické studium chyb, kterých se piloti dopouštěli v situacích, kdy téměř došlo k nehodám a kdy k nehodám došlo. Piloti byli požádáni, aby si vzpomněli na incidenty, kdy málem ztratili letadlo nebo byli svědky toho, že druhý pilot udělal chybu při čtení displejů letadla nebo jeho ovládacích prvků. Z analýz dat získaných z těchto kritických incidentů pánové Fitts a Jones zjistili, že prakticky všichni piloti bez ohledu na zkušenosti nebo dovednosti hlásili chyby při používání ovládacích prvků a přístrojů v kokpitu. Došli také k závěru, že by mělo být možné odstranit nebo snížit množství většiny těchto chyb pilotů, navržením nového zařízení v souladu s lidskými požadavky. Podobně lze omezit chyby řidiče při používání displejů a ovládacích prvků, pokud jsou navrženy v souladu s kritérii lidského inženýrství. [16, 17]

Ovládací prvky a displeje jsou rozhraním mezi lidskou obsluhou (řidičem) a strojem (automobilem). Toto rozhraní lze vidět na obrázku 3. Proto je problém návrhu ovládacích prvků a displejů považován za problém návrhu rozhraní člověk-stroj. Při navrhování rozhraní řidiče by měl konstruktér vozidla mít vždy na paměti následující základní úvahy. Řidiči budou raději minimalizovat své duševní a fyzické úsilí při používání ovládacích prvků a displeje. Je třeba prostudovat uživatelskou populaci, uživatelské charakteristiky a variabilitu mezi uživateli v populaci. Jinými slovy je třeba při návrhu ovládacích prvků a displejů vzít v úvahu vlastnosti uživatelů. Je třeba si prostudovat podmínky používání a jízdní situace při použití ovládacích prvků a displejů. Tyto podmínky a situace poskytnou vhled do informačních potřeb řidiče, časových omezení, podmínek prostředí a úkolů řidiče, které jsou potřeba k návrhu ovládacích prvků a displejů. [16]

Obrázek 3: Rozhraní mezi lidskou obsluhou a strojem (Zdroj: [16])



Charakteristika správného ovládání: Řidič by měl být schopen rychle manipulovat ovladačem s minimální duševní a fyzickou námahou. Dokončení požadované ovládací operace by mělo vyžadovat minimální počet pohledů řidiče a k jakékoli aktivaci ovládacího prvku by mělo být zapotřebí minimálních pohybů rukou a prstů. [16]

Vlastnosti správného vizuálního zobrazení: Řidič by měl být schopen rychle číst a porozumět zobrazení s minimálním duševním a fyzickým úsilím. Měl by být schopen získat potřebné informace z vizuálního displeje pouze několika krátkými pohledy a k získání potřebných informací by neměl vyžadovat žádné velké pohyby těla. [16]

Rozhraní řidiče se skládá z ovládacích prvků, displejů a dalších položek. Tyto položky jsou umístěny převážně v přístrojové desce, středové konzoli a výplních dveří. K navrhování těchto interiérových prvků by se nemělo přistupovat jako k řadě individuálních problémů navrhování a umístění každé položky ve vnitřním prostoru. Umístění a výběr těchto položek by měl být považován za systémový problém, který vyžaduje pečlivé zvážení a kompromisy mezi mnoha různými ergonomickými a funkčními požadavky. Řidiči na základě svých minulých zkušeností očekávají, že určité položky budou umístěny na jistých očekávaných místech, také očekávají nebo preferují určité typy ovládacích prvků pro dané ovládací funkce. [16]

Položky by měly být také umístěny podle frekvence používání a jejich důležitosti při používání vozidla. Když se preferovaná umístění mnoha položek seskupí ve stejné obecné oblasti, musí technik ergonomie upřednostňovat a přidělovat místa různým položkám prostudováním mnoha úvah, principů a pokynů pro návrh. [16]

Existuje mnoho různých typů ovládacích prvků a displejů. Návrhář musí vybrat správné typy ovládacích prvků a displejů tak, aby je řidiči pochopili a spojili si je s jejich funkcemi. Ovládací prvky a displeje musí být navrženy tak, aby fungovaly jako systém, proto je jejich rozložení velmi důležité. Musí být umístěny na očekávaných místech a v oblastech bez zatemnění, měly by být dobře označeny a pohybovat se ve směrech, které očekává většina řidičů. Musí být vzájemně propojeny, pokud jde o vlastnosti, jako je fyzické, vizuální a funkční seskupení. Mnoho ovládacích prvků a displejů je kombinováno dohromady a má například displeje, které mají identifikační a nastavovací štítky. Některé displeje mají v sobě ovládací prvky, například dotykovou obrazovku. [16]

4.2.1.1 Ovládací prvky

Spojité versus diskrétní ovládání: Spojité ovládání umožňuje nastavení řízeného parametru v libovolném bodě v rámci jeho ovládacího nebo pohybového rozsahu. Typické ovládací prvky používané pro tuto aplikaci jsou otočné ovládací prvky, posuvné přepínače a páčky. Diskrétní ovládací prvky mají aretační polohy, které uživateli umožňují nastavit je pouze na jednu z aretací. Typickými příklady takových ovladačů jsou rotační ovladače rychlosti ventilátoru, aretované posuvné ovladače, kolébkové spínače, pákové spínače a řadicí páka. [16]

Tlačítka: Tlačítkové spínače vyžadují nejjednodušší druh úchopu nazývaný kontaktní úchop, který pouze zahrnuje natažený prst k dotyku, a použití síly k aktivaci kontaktu mikrospínače. Nevyžadují, aby prsty operátora uchopily ovládací plochu. Vzhledem k tomu, že mnoho tlačítek nebo dotykových tlačítek lze aktivovat velmi malou silou, budou řidiči upřednostňovat odpočinkovou zónu, kde lze ruku podepřít v blízkosti tlačítka. Je třeba poznamenat, že s pokrokem v elektronice je tlačítko pravděpodobně nejlevnějším ovládacím prvkem na výrobu a mnoho malých tlačítek lze namontovat na malé plochy na ovládacích panelech a uspořádat je do různých vzorů. Schopnost operátora přesně lokalizovat a aktivovat malé tlačítko, zejména po velkém pohybu ruky, se může stát zdrojem stížností uživatelů. [16]

Dotykové obrazovky: Mají ovládací plochu překrytou v horní části displeje, a proto lze ovládat dotykem prstů bez jakéhokoli dalšího vstupního ovládacího zařízení. Dotykové oblasti se zobrazují vizuálně a fungují jako ovládací prvky. Dotykové ovládací prvky jsou nejpříjemnější formou ovládacího rozhraní, protože informační displej a ovládací prvky jsou na jedné ploše. Mají tedy potenciál být intuitivní, očekávané a přirozené. Některé problémy dotykových displejů jsou překážky v dotykových oblastech v důsledku ovládacího prstu a ruky, široký kontakt prstů neumožňuje jemné kontrolní pohyby, dlouhé nehty mohou způsobit potíže s orientací prstem a dosažení dostatečného kontaktu s pokožkou, nedostatek hmatové zpětné vazby u konvenčních dotykových obrazovek, sluneční světlo dopadající na obrazovku nebo odrazy na obrazovce snižující čitelnost, dotyk prstů může způsobit otisky/šmouhy na povrchu displeje a povrch dotykové obrazovky se může opotřebovat a poškrábat. Dotyková obrazovka je vidět na obrázku 4. [16]

Obrázek 4: Dotyková obrazovka (Zdroj: [16])



Kolébkové spínače: Dvoupolohové kolébkové spínače, které volí mezi dvěma režimy, jsou nejběžnějšími spínači na automobilových přístrojových deskách. Nevyčnívající část kolébkového spínače indikuje nastavený režim spínače. Na druhé straně vyčnívající část poskytuje vizuální a hmatové podněty k označení režimu dostupného pro budoucí akci nastavení. Některé kolébkové spínače mají více než dvě polohy. Takové spínače je obtížné nastavit na požadované nastavení a jsou náchylné k chybám. Problém vzniká, protože kolébka neposkytuje dostatečná vizuální vodítka k určení zvoleného nastavení a dalších dostupných možností, pokud není vedle spínače umístěn vizuální displej, který poskytuje informace o nastavení. [16]

Otočné přepínače: Většina běžných otočných přepínačů má knoflíky, které se uchopují a otáčejí ve směru hodinových ručiček nebo proti směru hodinových ručiček. Knoflíky mohou být navrženy v různých tvarech a velikostech s ukazateli nebo značkami a mohou být namontovány na různé povrchy v různých orientacích. Otočný přepínač je vidět na obrázku 5. [16]

Obrázek 5: Otočný spínač teploty (Zdroj: [16])



Multifunkční přepínače: Existuje mnoho kombinovaných přepínačů vytvořených tak, aby umožňovaly aktivaci mnoha funkcí. Pro indikaci různých dostupných funkcí jsou pro úspěšnou implementaci takových ovládacích prvků obecně nezbytné vizuální popisky a další vodítka na ovládacím prvku nebo jeho přidruženém displeji. Multifunkční přepínač je vidět na obrázku 6. [16]

Obrázek 6: Multifunkční otočný spínač (Zdroj: [16])



Programovatelné spínače: Programovatelný spínač může měnit svou ovládací funkci v závislosti na zvoleném režimu. Musí řidiči poskytnout jasné informace o zvolené funkci a dostupných nastaveních. Obecně, protože řidič potřebuje porozumět přítomnému režimu spínače a dalším dostupným možnostem, úkol ovládnutí takového spínače zahrnuje shromažďování a zpracování informací, což zase může prodloužit dobu ovládnutí a zvýšit četnost chyb při jeho aktivaci. [16]

Haptické ovládací prvky: Jsou to v podstatě programovatelné spínače, které mohou měnit své funkce a hmatové charakteristiky v závislosti na zvoleném režimu. Řidič musí získat okamžitou hmatovou zpětnou vazbu nebo informace prostřednictvím souvisejícího vizuálního nebo sluchového displeje, aby porozuměl svým pohybovým charakteristikám a přítomnému nastavení. [16]

Hlasové ovládání: Systém rozpoznávání hlasu umožňuje rozpoznání mluvených slov řidiče a nastavuje funkce systému v závislosti na naprogramované funkci. Hlasové ovládání tedy v zásadě nebude vyžadovat, aby řidič pro aktivaci ovládacích prvků prováděl jakékoli pohyby rukou nebo těla. Není však nutně ve všech případech přijatelné. Někteří řidiči neradi mluví k vozidlu, mohou mít dočasnou poruchu generování hlasu, hluk ve vozidle může snížit přesnost systému rozpoznávání hlasu, může nastat zpoždění při rozpoznávání hlasu a mohou se stát chyby při rozpoznávání hlasu. Proto by měly být k dispozici také redundantní ovládací prvky a možnost vypnout systém hlasového ovládání. [16]

4.3 Pozornost řidiče

Bezpečný provoz motorového vozidla vyžaduje, aby řidič soustředil podstatnou část svých prostředků pozornosti na úkoly související s řízením, včetně sledování vozovky, předvídání jednání ostatních řidičů a ovládání vozidla. Řidič se však může zapojit i do jiných činností, které nesouvisí s řízením. Jak se zvyšuje množství těchto aktivit, řidič jim věnuje větší pozornost a dochází k omezení zdrojů pozornosti nezbytných pro bezpečné řízení. [18]

Bylo zjištěno, že hlavním faktorem dopravních nehod je nepozornost řidiče, přičemž 20 až 50 % nehod zahrnuje nějakou formu nepozornosti. Rozptýlený řidič má zpožděné rozpoznávání informací nezbytných pro bezpečnou jízdu, protože událost uvnitř nebo vně vozidla přitáhla jeho pozornost. Rozptýlený řidič může být méně schopen vhodně reagovat na měnící se podmínky vozovky a provozu, což vede ke zvýšené pravděpodobnosti nehody. Odhaduje se, že rozptýlení řidiče je faktorem přispívajícím k 8 až 13 % nehod s nutnou odtahovou službou. [18–20]

Stanovení vlivu rozptýlení řidiče na riziko nehody se ukázalo jako náročné. Zprávy o haváriích, z nichž jsou odvozeny podrobné databáze havárií, často postrádají dobré informace o událostech souvisejících s rozptýlením, které vedly k havárii. Zároveň náhradní měření havárií souvisejících s rozptýlením, jako jsou nárazy zezadu, mohou být příliš subjektivní a nepřesné. Navíc, i když údaje o nehodách obsahují dobré informace týkající se rozptýlení, je interpretace těchto údajů obtížná, protože informace o frekvenci vystavení scénáři rozptýlení nejsou k dispozici. Scénáře, které vedou k rozptýlení řidiče, lze klasifikovat jako scénáře vyskytující se v okolí nebo uvnitř vozidla. [18]

4.3.1 Vnější incident

Tento scénář se týká události mimo vozidlo, která přitahuje pozornost řidiče. Je možná široká škála incidentů, které zahrnují, ale nejsou omezeny na nehody, policejní činnost a akce vozidel a chodců. Několik studií zjistilo, že vnější incidenty nejčastěji přispívají k nehodám souvisejícím s rozptýlením. Ačkoli frekvence, se kterou se řidič setká s vnějším incidentem, není známa, dalo by se předpokládat, že vystavení tomuto typu potenciálního rušivého vlivu je poměrně vysoké. Ve snaze dále vymezit nejběžnější typy vnějších incidentů souvisejících s nehodami souvisejícími s rozptýlením, Stutts a kol. zkoumali vzorek vyprávění o haváriích ze dvou let databázových souborů Crashworthiness Data System. Zjistili, že nejčastější vnější incidenty při nehodách souvisejících s rozptýlením se týkaly dopravy nebo vozidla, které vybočovalo, změnilo jízdní pruh, jednalo se o zásahové vozidlo nebo jasná světla vozidla. Dalšími dvěma nejčastějšími incidenty byla policejní aktivita a zvíře na vozovce, následované v pořadí podle četnosti lidmi nebo předměty na vozovce, slunečním svitem nebo západem slunce a stavbou na silnici. [18, 20, 21]

4.3.2 Sledování krajiny

Dalším potenciálním rozptýlením mimo vozidlo jsou scénérie nebo orientační body. V nedávné studii Virginia Commonwealth University výzkumníci analyzovali více než 2800 průzkumů vyplněných policisty na místech nehod souvisejících s nepozorností řidiče, pokud jde o hlavní rozptýlení, které přispělo k nehodě. Během téměř 10 % případů byl hlášen pohled na krajinu nebo významné body. Tento faktor rozptýlení byl na druhém místě po vnějších incidentech. [18, 21]

4.3.3 Pasážéři

Cestování s pasažérem se vyskytuje přibližně u 1/3 cest automobilem v USA (United States of America). Vzhledem k neuvěřitelné rozmanitosti lidských interakcí není překvapivé, že některé z těchto interakcí mohou řidiče automobilu rozptýlovat a mohou vést ke zvýšenému riziku nehody. U mladých řidičů v USA alespoň analýzy ukázaly, že četnost nehod se zvyšuje s počtem cestujících přítomných ve vozidle a riziko nehody se ještě zvyšuje, když jsou sami cestující mladí. Na druhou stranu výzkum nezjistil na nezletilých řidičích žádnou změnu snížení rizika nehody, když jsou přítomni cestující. Může se tedy stát, že mladí řidiči jsou náchylnější k rušivému vlivu cestujících než starší lidé, nebo že interakce mladých lidí se svými cestujícími jsou kvalitativně odlišné. [18, 22]

Analýzy souborů s daty o nehodách souvisejících s rozptýlením zjistily, že rozptýlení související s cestujícími je relativně běžnou spouštěcí událostí pro nehodu. Ve své analýze příběhů o haváriích CDS Stutts a kol. zjistili, že nejběžnější událostí související s cestujícím byla verbální interakce s cestujícím, po ní následovalo starání se o dítě nebo kojence a třetí byl cestující, který něco dělal (křičel, hledal něco atp.). [18, 20]

4.3.4 Zábavní systém

Naprostá většina motorových vozidel je vybavena zábavními systémy, které zahrnují rádia, kazetové přehrávače nebo přehrávače kompaktních disků. Provoz těchto systémů obvykle zahrnuje ruční manipulaci s tlačítky, knoflíky a médii, stejně jako vizuální vstupy, což vede k potenciálnímu fyzickému, kognitivnímu a vizuálnímu rozptýlení. Analýzy několika výzkumníků ukázaly, že úprava zábavního systému je jednou z hlavních aktivit spouštěcích událostí ve vozidle vedoucích k nehodám vyžadujícím odtahovou službu, nehodám hlášených policií a smrtelným nehodám souvisejících s rozptýlením. [18, 21]

4.3.5 Mobilní telefony

Používání mobilních telefonů při řízení je stále větším problémem bezpečnosti provozu. Vlastnictví mobilních telefonů v posledních letech rychle roste a k roku 2023 chytrý telefon světově vlastnilo kolem 85 % lidí. Vlastní údaje ukazují, že asi 2/3 mobilních telefonů se používají v motorovém vozidle. Studie přímého pozorování používání mobilních telefonů zjistily, že asi 3 až 5 % řidičů v každém okamžiku během denního světla konverzuje pomocí mobilního telefonu v ruce. Podle odhadů NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) se tato míra používání v USA rovná přibližně 600 000 řidičů, kteří používají mobilní telefon v kteroukoli danou dobu během denního světla. [18, 23]

Důkazy získané ze simulovaného řízení a jízdy na silnici ukázaly, že používání mobilního telefonu může vést ke snížení schopnosti vykonávání úkolů potřebných pro bezpečnou jízdu. V literatuře existuje všeobecná shoda, že nejvíce rušivé činnosti při používání mobilních telefonů jsou vytáčení a přijímání telefonních hovorů. Kromě toho bývá používání kapesních telefonů spojeno s větším snížením jízdního výkonu než u telefonů handsfree, ale konverzace bývá stejně rušivá, zvláště když je obsah informací vysoký. Přibývá také důkazů, i když ještě zdaleka ne přesvědčivých, že používání mobilních telefonů zvyšuje riziko nehod. CDS Stutts a kol. ve své analýze dat zjistili, že používání mobilního telefonu nebo vytáčení se podílí na přibližně 1,5 % nehod souvisejících s rozptýlením. Dalo by se očekávat, že toto procento poroste s předpokládaným nárůstem používání mobilních telefonů. [18, 20, 21]

Novější práce ve Virginii zjistily, že asi 5 % nehod souvisejících s rozptýlením se týká mobilních telefonů. Royal s využitím vlastních údajů o účasti na haváriích mobilních telefonů odhaduje, že 292 000 řidičů v USA nahlásilo účast na havárii mobilního telefonu za posledních 5 let. Výsledky epidemiologických studií, ve kterých bylo používání mobilních telefonů spojováno se záznamy o nehodách, začínají podporovat hypotézu, že používání mobilního telefonu při řízení zvyšuje riziko nehody. [18]

4.3.6 Systémy navádění trasy

Jednou z nejrozšířenějších pokročilých technologií vozidel je systém navádění trasy. Tyto systémy poskytují řidiči informace o trase do cíle dodané řidičem. Vzhledem k tomu, že tyto systémy využívají technologii určování polohy vozidla, jako je technologie globálního polohového systému GPS, lze trasy načasovat tak, aby odpovídaly informačním potřebám řidiče během jízdy. [18]

Existuje jen málo informací o výskytu systémů navádění trasy ve vozidlech nebo o frekvenci jejich používání. Analýza databází nehod nepřinesla žádné případy, kdy by použití navigačního systému bylo indikováno jako faktor přispívající k nehodám souvisejícím s rozptýlením. Kromě toho studie přirozeného použití různých systémů navádění na trase nezjistily žádný nepříznivý vliv na bezpečnost provozu ani žádné zvýšení rozptýlení, které sami uvedly. Navzdory těmto výsledkům existuje v literatuře všeobecná shoda v tom, že funkce zadávání cíle je značně rušivá, pokud zahrnuje vizuální displeje a ruční ovládání. Přestože k většině volení cíle by pravděpodobně došlo ve stojícím vozidle, Green poukázal na to, že existuje několik scénářů, ve kterých by se řidič mohl zapojit do zadávání cíle během jízdy a na oplátku je vystaven většímu riziku nehody související s rozptýlením. [18, 24]

Řidič spěchá a cíl zadá až po zahájení cesty; řidič změní svůj názor na cíl po zahájení cesty; řidič získá informace, například o dopravě z rádia, a poté se rozhodne změnit trasu; řidič zadal špatné místo určení nebo řidič nezná přesný cíl před odjezdem a skutečný cíl zadá později. Existuje tedy hned několik scénářů, ve kterých by použití systému navádění trasy mohlo vést k nehodám souvisejícím s rozptýlením. [18]

4.3.7 Ovládací prvky vozidla

Motorová vozidla mají řadu systémů, které řidič ovládá. Například světla, bezpečnostní pásy, směrová světla, stěrače čelního skla a topení/ventilace/klimatizace. Ovládání těchto systémů prostřednictvím ovládacích prvků na volantu nebo na palubní desce může odvádět pozornost od řízení a vést k rozptýlení. Obecně platí, že většina systémů, s výjimkou HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning), jsou jednoduché ovládací prvky, jejichž ovládání vyžaduje malou pozornost, alespoň ve známém vozidle. Systémy HVAC, které mají obecně alespoň 2 ovládací prvky s více možnostmi nastavení, však mohou vést k rozptýlení i ve známém vozidle. Studie, které zkoumaly nehody související s rozptýlením v různých databázích, zjistily, že úpravy ovládacích prvků vozidel mají na svědomí přibližně stejnou frekvenci nehod souvisejících s rozptýlením jako jídlo a pití, tedy asi 2 až 5 %. [18, 25]

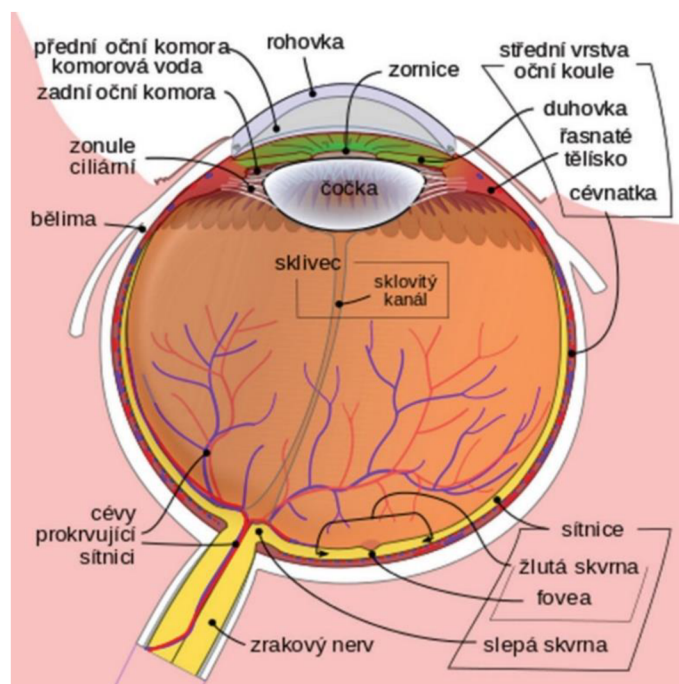
4.4 Sledování pohybu očí (Eye tracking)

Tato sekce teoretické části diplomové práce se zabývá teorií sledování pohybu lidských očí neboli eye trackingem.

4.4.1 Lidské oko

Zrak je nejvíce využívaný smysl člověka. Lidské oči jsou velmi složité orgány a v páru poskytují eliptický obraz v úhlu kolem 200° na šířku a 130° na výšku. Oko člověka je uzpůsobené tak, aby bylo schopno promítat paprsky světla na sítnici. Světlo je propouštěno přes zornici, po čemž se obraz převrátí a zaostří se na zadní část oční bulvy zvané sítnice, kde dopadající světelné paprsky zapříčiní chemické reakce ve světločivých buňkách. Světločivé buňky jsou tyčinky a čípky. Transformují světlo na elektrické impulzy, které se z nich přenášejí očním nervem do mozku člověka. Oko má zhruba tvar koule a skládá se z několika důležitých částí. Struktura lidského oka je vidět na obrázku 7. [26, 27]

Obrázek 7: Struktura lidského oka (Zdroj: [25])



Bělima je tuhá robustní membrána z vaziva. Zabírá většinu zadní části oka a slouží jako ochranný obal pro hlubší oční struktury. Poskytuje stabilní oporu pro šlachy svalů zodpovědných za oční pohyby. Bělima má na své přední části velký otvor, prostřednictvím kterého se spojuje s rohovkou. [26]

Rohovka připomíná svým tvarem segment koule vyklánějící se vpřed. Jedná se o vstupní část optického aparátu lidského oka a je nejvýznamnější, co se týče lámání světla. [26]

Cévnatka tvoří největší část prostřední sekce stěny oka, konkrétně dvě třetiny. Vypadá jako úzká hnědočerná hojně prokrvená blanka. Povrch cévnatky se přimyká k bělimě a její dutinová část je velmi hladká a podporuje sítnici. Plní funkci tmavé komory optické vrstvy sítnice a také slouží k výživě jejích pigmentových buněk včetně čípků a tyčinek. Zadní část cévnatky rozděluje otvor, kterým vedou vlákna zrakového nervu spolu se sítnicovou tepnou a žilou. [26]

Řasnaté těleso vypadá jako zřasený prstenec přiložený zevnitř na bělimu. Ztenčuje se vzadu a postupně přechází do cévnatky. Naopak vepředu se rozšiřuje a propojuje se s duhovkou. Vazivové stroma je podkladem řasnatého tělesa a jsou v něm uložené svalové buňky, které svými kontrakcemi uvolňují aparát závěsu čočky neboli zonuli, která svou elasticitou mění tvar a umožňuje přizpůsobení čočky neboli akomodaci. [26]

Duhovka je nejvíce vpřed vysunutou částí střední vrstvy stěny oka. Připomíná mezikruží s otvorem uprostřed, kterému se říká zornice nebo panenka. Plocha vepředu duhovky má různé barvy v závislosti na množství pigmentu, který určuje barvu očí člověka. Duhovka jedná jako světelná clona oka. Sítnice mění svoje osvětlení v závislosti na množství světla tak, aby se dostala na optimální hodnoty. [26]

Sítnice je vnitřní vrstvou oka a dělí se na optickou a slepou část. Optická část je nejvýznamnější a je naprosto klíčovou vrstvou vnitřní stěny oka. Zadní pól oka se skládá z několika struktur, mezi nimi vyniká takzvaná žlutá skvrna. Žlutá skvrna má kruhový tvar a v jejím středu je prohlubeň nacházející se na vrcholku optické osy oka, kde je vidění nejostřejší, jelikož paprsek míří přímo doprostřed. Vnější vrstva sítnice funguje jako absorpční vrstva světla a brání odražení světelných paprsků uvnitř oka. Vnitřní vrstva obsahuje hlavně sensorické buňky a neurony přenášející informace do mozku. Fotoreceptory se dělí na tyčinky a čípky. Tyčinky se specializují na zachycení intenzity světla a tvoří většinu sensorických buněk sítnice. Čípky slouží k vnímání barev a nejčastěji se nacházejí v maličké oblasti fovey, která je menší než 2 % zorného pole. Lidské oko dokáže ostře vnímat jen tak malou část zorného pole právě z tohoto důvodu. Fovea je obklopena parafoveálním a perifoveálním sektorem. Vnímání obrazu skrze tyto oblasti se označuje jako periferní vidění, to je na rozdíl od foveálního rozmazané. [26, 28]

Čočka je napojená na vlákna závěsného aparátu a tudíž se do čočky přenáší působení ciliárního svalu. Čočka se zplošťuje při koukání do dálky, protože vlákna řasnatého tělíska se při tom napínají. Ciliární svaly se zase stahují při koukání zblízka, což posouvá ciliární aparát a ochabuje tah na čočku, což způsobuje její vyklonění a zvýšení optické mohutnosti. [26]

Sklivec je tvořený měkkou průhlednou hmotou, která vyplňuje jeho komoru. Vpředu se nachází jamka, do které zasahuje zadní část čočky. Sklivcem před narozením dítěte prochází tepna k čočce, která časem zmizí a zůstane po ní sklovitý kanálek. [26]

Oční komory se skládají ze dvou štěrbinových otvorů mezi čočkou a rohovkou. Komory vyplňuje mok, který je odváděn do žilního systému. Poruchou odtoku moku může vzniknout takzvaný zelený zákal. [26]

Během sledování pohybů očí je nutné si uvědomit, že 40 % mozku člověka zpracovává informace z oblasti, která pokrývá méně než 5 % zorného pole. Přesně proto se oči pořád hýbají tak, aby důležité podněty byly zobrazeny v části s nejvyšším vizuálním rozlišením. [26]

4.4.2 Fixace a sakády

Nejdůležitějším pohybem očí je fixace neboli jejich schopnost udržet se zaměřené na konkrétním bodě. Fixace může trvat pouze pár desítek milisekund, ale klidně i několik sekund. Vizuální vnímání se tedy skládá z desítek fixací zaměřujících se na různé body scény, kterou dotyčný pozoruje. Oko však nikdy není zcela fixováno na jeden bod. Při fixacích dochází ke třem základním dílčím mikropohybům, tedy tremoru, mikrosakádám a driftu. Mikropohyby oka jsou vidět na obrázku 8. [26]

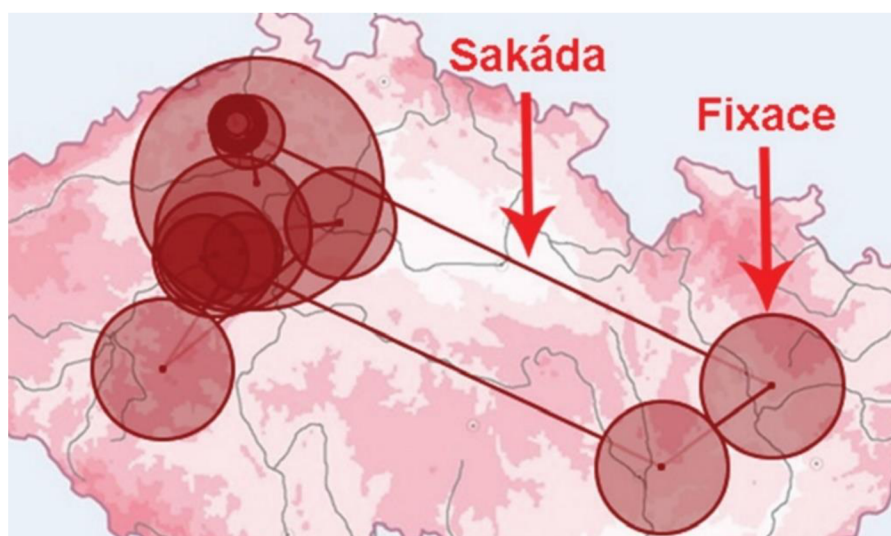
Obrázek 8: Mikropohyby probíhající během fixací (Zdroj: [25])



Tremor, také nazýván jako jako třes, je nepatrný pohyb, jehož přesný význam není dodnes známý. Spekuluje se, že ho způsobuje nepřesnost kontroly svalů pohybujících okem. Driftem se rozumí pomalé klouzavé pohyby posouvající oko ze středu fixace. Mikrosakády jsou zodpovědné za návrat oka zpátky do centra fixace. Funkce těchto pohybů je bránit saturaci receptorů sítnice, ta by mohla mít za následek zhoršenou vizi. Člověk si těchto mikropohybů není schopen vědomě všimnout, ani kdyby se na to aktivně soustředil. Zachycením těchto nepatrných pohybů se zabývá neurologie a je možné je zaznamenávat pouze pomocí speciálních vysokofrekvenčních eye-trackerů. Jejich studia se dá využít například ve studiích týkajících se autismu, ale pro klasický výzkum nemá jejich studium význam, z tohoto důvodu se pro analyzování používají jen fixace jako celek. [26, 27, 29]

Když se oči přesouvají z jedné fixace na druhou, vykonávají speciální balistické pohyby zvané sakády. Jedná se o vůbec nejrychlejší pohyb, kterého je lidské tělo schopné. Jejich rotační rychlost dosahuje až 500°/s. Lidský mozek během nich nevnímá skoro žádné vizuální vjemy, což není způsobeno jen rozmazáním vnímaného obrazu, ale i takzvaným sakadickým potlačením. Kvůli tomu není možné vidět například pohyby vlastních očí v zrcadle. Sakády se také často označují jako přímé spojnice mezi fixacemi, avšak pouze málokdy je jejich průběh přímý, protože sakády v realitě můžou mít myriády různých tvarů a zakřivení. Jejich podstatná část ještě k tomu neskončí zcela ve svém exaktním cíli v rámci vlivu rozkolísání oka před jeho zastavením. Takový pohyb sakád se označuje jako glisáda. Oko zdravého člověka zvládne průměrně 3 až 4 sakády za vteřinu, což činí zhruba 200 000 sakád za den. Fixace a sakády jsou vidět na obrázku 9. [26, 30]

Obrázek 9: Fixace a sakády (Zdroj: [25])



Oko však vykonává i další pohyby. Například smooth pursuit neboli sledovací pohyb, který oči provádějí během pozorování pomalých objektů. Korekční sakády slouží k vyrovnávání opoždění za pohybujícími se objekty. Smooth pursuit a sakády jsou však naprosto odlišné pohyby a za jejich řízení zodpovídají rozdílné části mozku. Rozdíl spočívá v tom, že smooth pursuit potřebuje objekt k pozorování a nejde ho provádět ve tmě nebo před holou zdí. Většinou se tedy pozorují jen fixace a sakády. Slouží k tomu široká škála všemožných algoritmů. Pomocí eye-trackingových metrik neboli číselných charakteristik fixací a sakád, se udává vztah mezi sledovaným obrazem a pozorovatelem, náročnost sdělované informace, respondentova pozornost a mnoho dalších parametrů určených pro čtení obrazu. [26]

4.4.3 Metody sledování pohybu očí

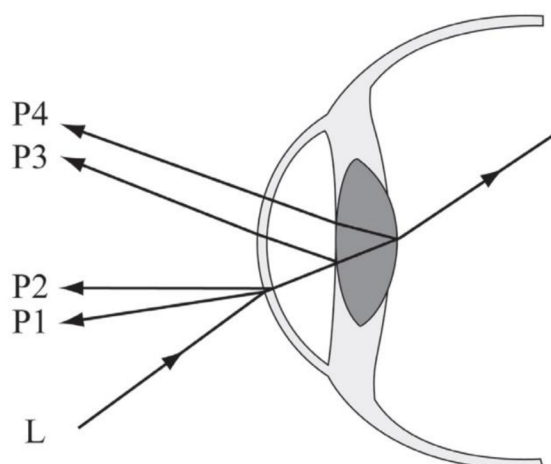
Tato sekce teoretické části diplomové práce se zabývá teorií metod sledování pohybu očí člověka.

4.4.3.1 Historie

Lidé se o zrak a jeho fungování zajímají od nepaměti. Slavný řecký filozof Aristoteles, nejvýznamnější žák Platonův a vychovatel Alexandra Velikého, zkoumal lidský zrak už ve čtvrtém století před Kristem. Zjistil, že se obě oči hýbají spolu a není fyzicky možné, aby se každé oko dívalo na opačnou stranu čili například, aby se jedno dívalo doleva zatímco se druhé kouká doprava. Usoudil, že je nutné brát obě oči jako společnou jednotku. Později se stejným problémem zabýval Ptolemaios. Navíc svůj průzkum rozšířil o experimentální studie binokulárního vidění. [26, 31–33]

Český fyziolog, anatom a biolog Jan Evangelista Purkyně se začal o lidský zrak zajímat v devatenáctém století. Především se proslavil svými popisy obrazu odrážejícího se od povrchu očí. Důležitost těchto popisů spočívá především v tom, že se dají využít k přesnému záznamu polohy oka. Purkyňovy obrázky, jak se těmito popisům říká, jsou čtyři. První představuje odraz od vnější a druhý od vnitřní strany rohovky. Třetí popisuje odraz od přední strany čočky a čtvrtý od její zadní strany. Purkyňovy obrázky jsou vidět na obrázku 10. [26, 34]

Obrázek 10: Purkyňovy obrázky (Zdroj: [25])



Émile Javal, francouzský vědec a zakladatel oftalmologické laboratoře na pařížské Sorbonně, zjistil, že pohyby očí nejsou plynulé. Popsal tyto zvláštní pohyby očí a pojmenoval je sakády. Zařízení určené pro záznam pohybu očí sestrojil Javal. Zařízení používalo odrazy zrcátka připoutaného k oku a zaznamenávalo je na fotografickou desku. Delabarre později navázal na Javalův výzkum. Zrcátko vyměnil za sádrouvou misku s drátkem a pohyby oka zaznamenával na kymograf. Delabarrovo zařízení bylo dle něj velmi přesné za předpokladu, že se pozorované oči pohybovaly při měření pomalu. Rychlejší pohyby však nešlo interpretovat, navíc byla tato metoda velmi nepříjemná pro testovanou osobu a Delabarre tak musel používat kokainový roztok k znecitlivění očí. [26]

Větší nárůst technologií určených pro sledování očních pohybů přišel na začátku 20. století. Delabarrův přístroj byl příliš omezený jeho nutností přímého kontaktu oka se záznamovým povrchem, a tak vznikly nové metody, které již netrpěly tímto nepříjemným problémem. První primitivní eye-trackery se zaměřovaly pouze na čtení textu a nesložitých geometrických tvarů. Jedni z prvních vynálezců těchto nových technologií byli Dodge a Cline s jejich fotografickým zařízením, které už nepotřebovalo žádný přímý kontakt s okem. Následovala revoluce výzkumu očí a rychlý vývoj teorií o vazbách mezi pohyby očí, percepcí a kognicí. [26]

Díky těmto novým technologiím se přišlo na to, kam se přesně testovaný člověk koukal. Později to nabylo bezkonkurenčního významu v oblasti eye-trackingu a výzkumu pozornosti řidiče. Guy Buswell byl naprosto klíčový při vzniku této oblasti zkoumání. Zasloužil se o významnou monografii s názvem „How People Look at Pictures“, která se skládá z údajů o pohybu očí 200 testovaných osob. Monografie obsahovala více než 2000 záznamů a filmový pás, na který byla zaznamenaná. Měla neuvěřitelných 5,5 km na délku. Buswellova práce se stala první prací systematicky zkoumající pohyby očí testovaných osob při sledování komplikovanějších stimulů než textů a primitivních geometrických tvarů. Práce byla naprosto revoluční, co se eye-trackingu týče, a obsahovala dokonce i první „heat mapy“, neboli mapy vyobrazující hustotu fixací v daných částech obrazů. Právem se stala základem moderního eye-trackingu. [26, 33]

4.4.3.2 Metody

Existují 2 typy technik pozorování očního pohybu. První zaznamenává polohu oka vzhledem k hlavě a druhá orientaci oka v prostoru. Duchowski rozlišuje 4 techniky pozorování očního pohybu: EOG (Elektro-OculoGraphy), Scleral contact lens (kontaktní čočky), POG (Photo-OculoGraphy) a VOG (Video-OculoGraphy), Pupil and Corneal Reflexion Tracking. [26, 35]

Elektrookulografie (EOG) je principiálně založena na měření diferencí elektrického odporu kůže elektrodami rozmístěnými kolem očí testované osoby. Díky záznamu těchto relativně malých rozdílů odporu je možné vypočítat pohyb očí. Výhodou této metody je například možnost měřit testovanou osobu, zatímco má zavřené oči, čehož hojně využívají klinické studie se zaměřením na pohyb očí během spánku. Metoda měří oční polohu vůči hlavě a nelze jí tak využít ke zjištění směru pohledu, pokud se zároveň s ní neměří poloha hlavy. Dnes je EOG nejméně přesnou metodou ze čtyř výše zmíněných, avšak v polovině 70. let 20. století byla zdaleka nejpoužívanější eye-trackingovou technikou. Použití techniky EOG je vidět na obrázku 11. [26, 35–37]

Obrázek 11: EOG (Zdroj: [35])



Kontaktní čočky jsou jednou z nejpřesnějších metod zaznamenávání očního pohybu. Provádí se za použití mechanického či optického referenčního objektu, který se namontuje na kontaktní čočku, a díky tomu se dostane přímo na oko testované osoby. Základy této metody položil Delabarr. Dnes se používají moderní kontaktní čočky, které se umisťují na rohovku a bělimu. Optická a mechanická zařízení, jež se na čočku umisťují, mohou obsahovat například fosfor nebo drátěné cívky, jejichž poloha a orientace se vypočte za pomoci měření změn proudu indukovaných trojicí vzájemně kolmých zdrojů magnetického pole. Vložení čočky do oka není vůbec jednoduché a vyžaduje jistý cvik. Nevýhodou metody je jisté nepohodlí způsobené testovanému subjektu. Stejně jako EOG měří metoda polohu oka vzhledem k hlavě. Použití kontaktních čoček s drátěnou cívkou je vidět na obrázku 12. [26, 30]

Obrázek 12: Kontaktní čočka s drátěnou cívkou (Zdroj: [25])



Videookulografie (VOG) nebo také **fotookulografie** (POG) se zaměřuje na měření pozic rozlišitelných částí oka. Její použití je významné především pro detekci tvaru zornice, pozice limbu (přechod mezi bělimou a rohovkou) a korneálního odrazu zdroje světla od rohovky. Pohyby očí se při těchto technikách mohou nebo nemusí interpretovat automaticky a je možné do nich připojit i vizuální kontrolu například z videozáznamu, ta je však velmi časově náročná a pracná. Některé metody tohoto typu vyžadují upevnění hlavy opěrkou nebo zuby. Využívá se i infračervených fotodiód pro automatické sledování limbu, ty se montují na rám kolem oka. Sledování limbu může být výhodné díky tomu, že oproti zornici není jeho velikost ovlivněna světelnými podmínkami okolí. Nevýhodou je hojné překrývání limbu víčky očí. Sledovač limbu je možné vidět na obrázku 13. [26, 35]

Obrázek 13: Sledovač limbu (Zdroj: [25])



Pupil and Corneal Reflexion Tracking je nejhojněji používaná technika sledování očního pohybu. Směr pohledu se dá zjistit měřením více očních charakteristik najednou, aby se dal rozeznat pohyb hlavy a očí. Nejčastěji to bývají charakteristiky pozice středu zornice a infračerveného odrazu od rohovky. Princip techniky spočívá v nalezení středu zornice a korneálního odrazu direktního infračerveného paprsku. Korneální odraz je jen jiný název pro 1. Purkyňův obrázek. Vzájemná poloha mezi středem zornice a korneálním odrazem se během otáčení mění, avšak při drobných pohybech zůstává poměrně konstantní. Eye-tracker se nejčastěji dával pod monitor počítače, kde se zobrazoval studovaný obraz. Dnes už je mnoho přenosných systémů, díky kterým je možné pozorovat pohyby očí v reálném prostředí. Testovaná osoba je nosí přímo na hlavě ať už jako brýle nebo různé přilby. Mobilní eye-trackery jsou vidět na obrázku 14.

Obrázek 14: Mobilní eye-trackery (Zdroj: [25])



5 Praktická část práce

Cílem praktické části diplomové práce bylo provést experiment měření ergonomie interiéru tří různých vozidel za pomoci eye-trackingových brýlí Tobii Pro Glasses 3, vyhodnotit jaké vozidlo dosáhlo nejlepších výsledků a zjistit vhodnost umístění vybraných ovládacích prvků ve zkoumaných vozidlech.

Byla provedena série experimentálních měření na všech třech testovaných vozidlech všemi třiceti respondenty. Během měření bylo využito příslušné technické vybavení, jež je popsáno níže.

5.1 Použité vybavení

Provedení měření experimentu vyžadovalo speciální vybavení popsané v této části diplomové práce.

5.1.1 Eye-trackingové brýle Tobii Pro Glasses 3

Brýle Tobii Pro Glasses 3 jsou speciální eye-trackingové brýle od společnosti Tobii AB. Je možné je vidět na obrázku 15. Jsou navrženy tak, aby umožňovaly snadný přesný a efektivní sběr dat eye trackingu v široké škále výzkumných scénářů. Diskrétní ultralehký design zajišťuje přirozené chování respondentů a validitu výzkumu v kvalitativních i kvantitativních situacích. Zaznamenávají přesná data a jsou dostatečně robustní pro použití v nepředvídatelných podmínkách a situacích reálného prostředí. [38]

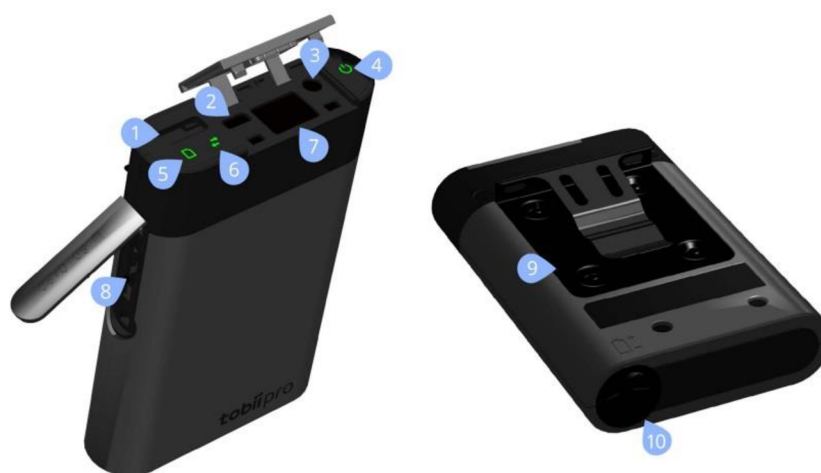
Obrázek 15: Tobii Pro Glasses 3 (Zdroj: [37])



5.1.2 Záznamová jednotka

Záznamová jednotka je malý počítač řídící hlavní jednotku. Zaznamenává a ukládá data eye trackingu, zvuk a video z kamery na vyjímatelnou SD (Secure Digital) kartu. Je vybavena vyměnitelnou a dobíjecí Li-ion (Lithium-iontová) baterií, která napájí jak záznamovou, tak hlavní jednotku. Záznamová jednotka má několik konektorů a tlačítko napájení. Ovládá se prostřednictvím aplikace ovladače Tobii Pro Glasses 3. Záznamová jednotka je vidět na obrázku 16. [38]

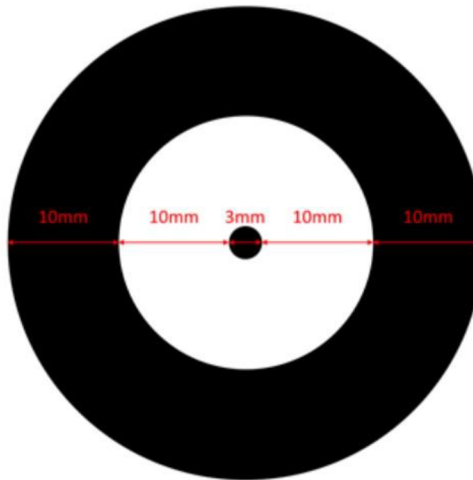
Obrázek 16: Záznamová jednotka (Zdroj: [37])



5.1.3 Kalibrační karta

Brýle Tobii Pro Glasses 3 je možné používat i bez kalibrace, avšak chyby přesnosti takového měření budou značné. Pro lepší přesnost brýle vyžadují správnou kalibraci. Nejlepším způsobem kalibrace je použití takzvané kalibrační karty. Uživatel s nasazenými zapnutými brýlemi se musí dívat do středu karty vzdálené na délku jeho napjaté paže, dokud nezazní kladný signál z počítačové aplikace ovládání brýlí. Pokud zazní záporný signál, kalibrace se nezdařila a je třeba ji zopakovat. Toto je třeba provést před každým měřením. Kalibrační karta je vidět na obrázku 17. [39]

Obrázek 17: Kalibrační karta (Zdroj: [38])



5.1.4 Notebook s aplikací Glasses 3

Ovládání brýlí vyžaduje mobilní či počítačovou verzi aplikace Glasses 3. Aplikace slouží ke snadnému ovládání a zaznamenávání eye trackingu, což umožňuje sledovat záznam v reálném čase na příslušném zařízení (notebook). [40]

5.1.5 Automobily

Tato sekce praktické části diplomové práce obsahuje seznam použitých vozidel k provedení experimentálního měření.

5.1.5.1 Volkswagen Caddy

Automobil Volkswagen Caddy je vidět na obrázku 18.

- Datum první registrace vozidla: 29.06. 2004
- Tovární značka: Volkswagen
- Obchodní označení: Caddy
- Typ: 2K
- Řazení převodovky: Manuál
- Barva: Červená – základní

Obrázek 18: Volkswagen Caddy (Zdroj: [41])



5.1.5.2 Honda CR-V (Compact Recreational Vehicle)

Automobil Honda CR-V je vidět na obrázku 19.

- Datum první registrace vozidla: 18.04. 2008
- Tovární značka: Honda
- Obchodní označení: CR-V
- Typ: RE6
- Řazení převodovky: Manuál
- Barva: Červená – základní

Obrázek 19: Honda CR-V (Zdroj: [42])



5.1.5.3 Honda CR-V Hybrid

Automobil Honda CR-V Hybrid je vidět na obrázku 20.

- Datum první registrace vozidla: 27.10. 2021
- Tovární značka: Honda
- Obchodní označení: CR-V
- Typ: RW
- Řazení převodovky: Automat
- Barva: Bílá

Obrázek 20: Honda CR-V Hybrid (Zdroj: [43])



5.2 Respondenti

Pro experiment bylo vybráno 30 respondentů různého pohlaví, věku a řídicích zkušeností vyjádřených roky řízení. Každý ze zúčastněných respondentů byl v době provádění měření držitelem řídicího oprávnění skupiny B. Seznam respondentů je vidět v tabulce 1.

Tabulka 1: Respondenti (Zdroj: Vlastní)

Respondent	Pohlaví	Věk	Roky řízení
1	Muž	25	1
2	Muž	25	6
3	Muž	26	8
4	Muž	23	5
5	Muž	24	0
6	Muž	26	8
7	Muž	24	6
8	Muž	26	8
9	Muž	24	6
10	Muž	21	3
11	Muž	38	20
12	Žena	39	6
13	Muž	67	49
14	Žena	65	47
15	Žena	59	41
16	Muž	64	45
17	Muž	41	23
18	Žena	39	3
19	Muž	37	8
20	Žena	60	42
21	Žena	39	21
22	Muž	47	29
23	Žena	68	50
24	Muž	53	25
25	Žena	45	27
26	Žena	36	18
27	Muž	39	21
28	Žena	40	22
29	Muž	47	29
30	Žena	22	4

Na experimentu se celkově podílelo 19 mužů a 11 žen. Nejmladšímu respondentovi bylo 21 let a nejstaršímu 68 let. Průměrný věk respondentů byl 40 let. Nejméně zkušený respondent měl 0 let řízení a naopak nejzkušenější 50 let řízení. Průměr řidičských zkušeností respondentů byl 19 let řízení.

5.3 Metodika měření

Pro experiment bylo připraveno 12 úkolů týkajících se různých ovládacích prvků automobilu. Splnění každého úkolu bylo vymezeno časovým úsekem 30 sekund. Vzhledem k tomu, že měření bylo prováděno na třech různých autech po sobě, bylo pořadí úkolů změněno pro každé z vozidel, aby nedošlo k negativnímu ovlivnění měření tímto způsobem. Úkoly byly tedy pokaždé stejné pro každé z testovaných vozidel, ale svým pořadím byly rozděleny na tři různé sady.

Úkoly měření (toto konkrétní pořadí úkolů bylo pro vůz Volkswagen Caddy a bylo použito pro vyhodnocení výsledků měření):

1. Zapněte přední stěrače.
2. Otevřete kapotu motoru.
3. Zapněte výstražná světla.
4. Zapněte dálková světla.
5. Zapněte vnitřní cirkulaci vzduchu.
6. Najděte ovládání ostříkovačů.
7. Zapněte mlhová světla.
8. Otevřete okénko u řidiče.
9. Nastavte si vnější zpětné zrcátko u řidiče.
10. Zapněte zadní stěrač.
11. Vypněte stabilizační systém (ESP (Electronic Stability Program)/ VSA (Vehicle Stability Assist)).
12. Zařaďte zpátečku.

Měření probíhalo vždy za účasti maximálně 1 respondenta a provádělo se za denního světla. Před měřením byl respondent informován o průběhu měření a byl opatřen eye-trackingovými brýlemi Tobii Pro Glasses 3. Měření vždy probíhalo postupně na všech 3 zkoumaných vozidlech v následujícím pořadí: 1. Volkswagen Caddy 2. Honda CR-V 3. Honda CR-V Hybrid.

Respondent opatřený zapnutými eye-trackingovými brýlemi a bezpečně připevněnou připojenou záznamovou jednotkou nastoupil do vozidla na místo řidiče. Zkoušející vybavený kalibrační kartou a notebookem se zapnutou a s brýlemi propojenou řídicí aplikací Glasses 3 usedl na místo spolujezdce. Automobil byl zaparkovaný a nenastartovaný po celou dobu měření v rámci zajištění bezpečného průběhu experimentu pro respondenta i zkoušejícího. Nebylo tedy možné funkčně zapnout veškeré ovládací prvky obsažené v úkolech experimentu, ale pro úspěšné splnění úkolu je stačilo ve stanoveném čase najít a správně aktivovat nebo správně popsat jejich aktivaci.

Zkoušející respondentovi předal kalibrační kartu a vyzval ho, aby ji uchopil do ruky a natáhl před obličej na délku své paže. Zkoušející pak provedl kalibraci, která byla úspěšná při zaznění pozitivního zvukového signálu z aplikace Glasses 3. Pokud se kalibrace nezdařila, proces se opakoval. Po úspěšné kalibraci respondent vrátil kalibrační kartu zkoušejícímu, který ji přejal, přichystal aplikaci k zahájení měření a otázel respondenta, zdali je připraven k zahájení měření. Po obdržení kladné odpovědi zkoušející zapnul záznam v aplikaci a postupně respondentovi zadával danou sadu úkolů. Po splnění posledního úkolu zkoušející ukončil záznam a přichystal nový pro další měření. Následně identickým způsobem proběhlo měření zbylých dvou vozidel, načež předal respondent zkoušejícímu brýle a záznamovou jednotku a šel na řadu další respondent.

5.4 Zpracování výsledků

Výsledky měření byly zpracovány v programu Tobii Pro Lab. Jedná se o přední světový experimentální software pro eye-trackingové studie. Je to výkonný uživatelsky přívětivý nástroj, který zajišťuje snadné a přehledné zpracování a práci s naměřenými daty. Nabízí velkou míru flexibility pro provádění pokročilých experimentů a detailní náhled na pozornost a kognitivní procesy. [44]

Program mimo jiné dokáže rozdělit video na úseky, generovat tepelné mapy a fixace se sakádami testované osoby. Tepelné mapy znázorňují místa, kam se řidič nejčastěji koukal. Kombinace zelené, žluté a červené barvy vyjadřují místa časté fixace testované osoby. Fixace a sakády software zaznamenává číselně postupně dle pořadí jejich vzniku. To je vyjádřeno plnými barevnými kruhy různých velikostí představujících fixace spojené čarami znázorňujícími sakády. [44]

6 Výsledky a diskuze

Pro všechna měření na všech vozech bylo použito 12 stejných úkolů, které byly rozděleny na 3 sady s různým pořadím úkolů pro každé z vozidel. Pořadí úkolů bylo zpětně sjednoceno pro lepší přehlednost výsledků v následujících tabulkách podle sady úkolů pro vůz Volkswagen Caddy, která je uvedena výše.

Kvůli své velikosti byly tabulky upraveny tak, aby se vešly do tohoto textu. Bylo užito následujících zkratk: **R.** = Respondent; **Ú.** = Úkol a **N.** = Nenašel.

Během měření bylo také zaznamenáno několik problémů týkajících se komfortu respondentů. Několik respondentů si stěžovalo, že je brýle tlačí a 1 (3,33 %) respondent uvedl, že ho po sundání brýlí bolely oči. Obecně však šlo o velmi ojedinělé případy, a tak nelze přímo říci, že by použité eye-trackingové brýle byly nepohodlné.

6.1 Volkswagen Caddy

Vůz Volkswagen Caddy byl nejstarším zkoumaným automobilem experimentu. Vozidlo bylo vždy 1. měřeným vozem experimentu. Pořadí úkolů pro tento vůz bylo použito jako základní pro výsledky měření uvedené v následujících tabulkách všech automobilů, a tudíž se nijak neliší. Zastaralé manuální otevírání okénka u řidiče a nastavení vnějšího zpětného zrcátka u řidiče dělalo mnohým respondentům značné problémy. Následuje tabulka 2, kde jsou vidět výsledky měření tohoto vozidla.

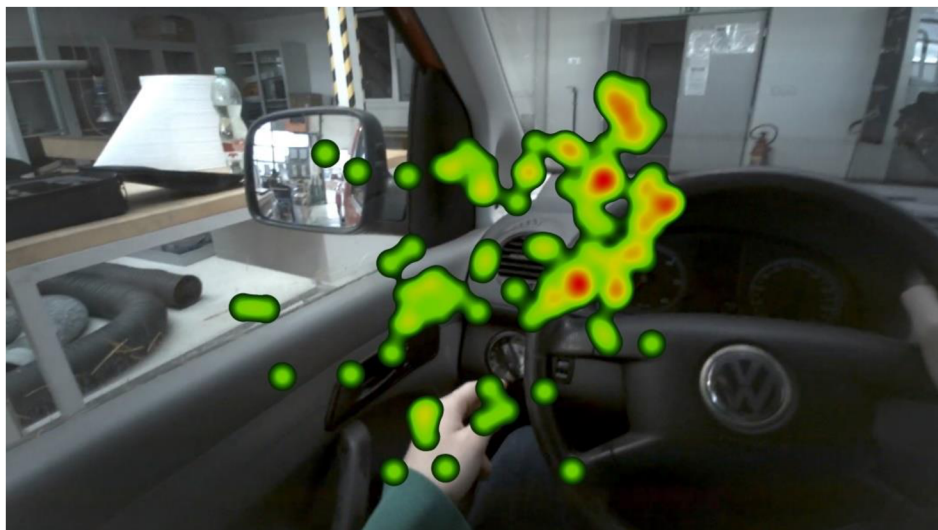
Tabulka 2: Volkswagen Caddy výsledky měření (Zdroj: Vlastní)

Volkswagen Caddy												
R.	Ú. 1 [s]	Ú. 2 [s]	Ú. 3 [s]	Ú. 4 [s]	Ú. 5 [s]	Ú. 6 [s]	Ú. 7 [s]	Ú. 8 [s]	Ú. 9 [s]	Ú. 10 [s]	Ú. 11 [s]	Ú. 12 [s]
1	6	4	N.	2	N.	3	N.	1	N.	N.	N.	5
2	6	8	2	3	4	4	N.	4	N.	N.	N.	4
3	1	2	1	1	1	2	1	1	N.	1	1	1
4	5	12	1	3	7	2	N.	1	N.	N.	14	3
5	8	9	2	N.	14	5	N.	1	16	5	N.	23
6	1	3	1	1	6	1	28	4	N.	N.	17	3
7	1	3	1	2	3	2	5	3	N.	2	2	2
8	2	4	1	1	5	1	2	3	21	2	5	3
9	1	2	1	1	N.	1	2	2	N.	2	1	2
10	1	2	1	2	N.	4	2	4	N.	5	4	3
11	1	3	1	4	2	3	4	2	N.	2	8	2
12	4	5	1	3	N.	1	N.	10	N.	N.	N.	5
13	6	N.	1	3	N.	11	N.	7	N.	N.	N.	2
14	4	N.	3	3	N.	N.	N.	21	N.	N.	N.	4
15	3	5	1	2	5	4	N.	2	3	3	N.	2
16	4	4	1	2	6	9	2	1	5	2	3	1
17	5	4	1	3	2	5	N.	9	5	3	7	3
18	2	N.	1	N.	3	1	2	1	3	1	N.	2
19	2	6	1	2	2	2	2	2	14	1	2	1
20	3	12	1	1	N.	N.	N.	4	11	5	N.	1
21	2	4	1	1	4	7	N.	2	10	4	N.	2
22	4	12	N.	4	N.	2	N.	2	N.	N.	N.	2
23	1	N.	9	1	N.	3	N.	6	N.	N.	N.	2
24	6	7	1	2	N.	2	N.	3	N.	2	N.	2
25	6	7	1	1	N.	2	N.	2	N.	3	4	3
26	1	9	1	3	3	2	4	3	18	2	4	3
27	9	13	1	1	8	7	N.	4	N.	N.	N.	3
28	2	N.	1	1	N.	4	N.	N.	N.	N.	N.	2
29	4	5	1	1	7	2	4	2	10	3	N.	2
30	4	2	2	1	2	2	N.	2	N.	7	2	1

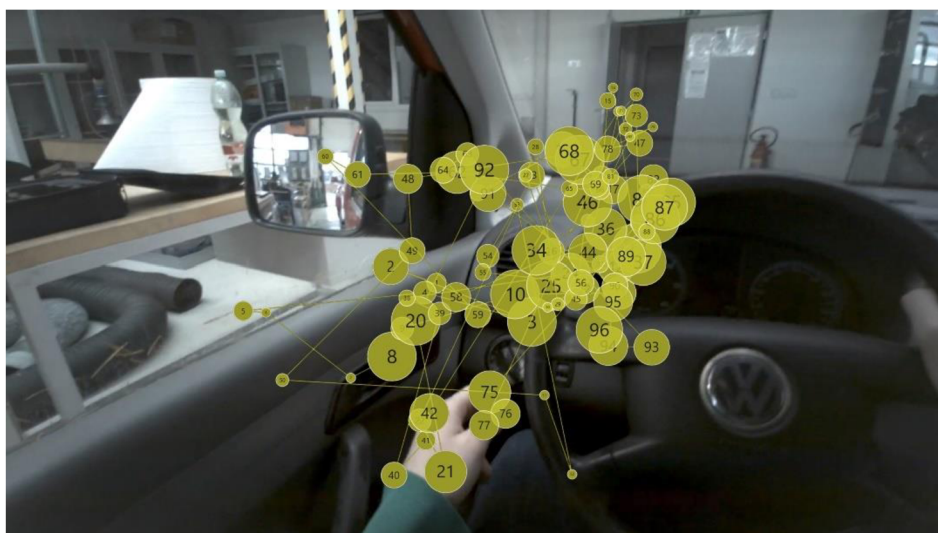
Největší problémy u tohoto vozu dělaly respondentům úkoly 5, 7, 9, 10 a 11. Úkol 5 („Zapněte vnitřní cirkulaci vzduchu.“) se nepodařilo splnit 12 (40 %) respondentům. Častou chybou při plnění tohoto úkolu bylo to, že respondenti místo toho zapínali klimatizaci. Úkol 7 („Zapněte mlhová světla.“) se nepodařilo splnit 18 (60 %) respondentům, úkol 10 („Zapněte zadní stěrač.“) nezvládlo 11 (36,67 %) a úkol 11 („Vypněte stabilizační systém.“) nesplnilo 16 (53,33 %) z nich.

Úplně největší problémy dělalo respondentům splnění úkolu 9 („Nastavte si vnější zpětné zrcátko u řidiče.“). Úkol se nepodařilo splnit 19 (63,33 %) respondentům. Nejrychlejší čas splnění tohoto úkolu byly 3 sekundy, nejpomalejší 21 sekund a průměrný 10,55 sekundy. Obrázek 21 a 22 znázorňuje teplotní mapu (heat map) a fixace se sakádami měření respondenta 1 během plnění úkolu 9.

Obrázek 21: Respondent 1, úkol 9, Volkswagen Caddy teplotní mapa (Zdroj: Vlastní)



Obrázek 22: Respondent 1, úkol 9, Volkswagen Caddy fixace a sakády (Zdroj: Vlastní)



6.2 Honda CR-V

Vůz Honda CR-V byl 2. nejstarším zkoumaným automobilem experimentu. Vozidlo bylo vždy 2. měřeným vozem experimentu. Pořadí úkolů pro tento vůz bylo v porovnání se základním pořadím úkolů: 3, 8, 2, 6, 9, 12, 11, 4, 5, 1, 7, 10. Oproti staršímu Volkswagenu jsou ovladače tohoto vozidla poněkud modernější a respondenti na ně tak byli zvyklejší. Následuje tabulka 3, kde jsou vidět výsledky měření tohoto vozidla.

Tabulka 3: Honda CR-V výsledky měření (Zdroj: Vlastní)

Honda CR-V												
R.	Ú. 1 [s]	Ú. 2 [s]	Ú. 3 [s]	Ú. 4 [s]	Ú. 5 [s]	Ú. 6 [s]	Ú. 7 [s]	Ú. 8 [s]	Ú. 9 [s]	Ú. 10 [s]	Ú. 11 [s]	Ú. 12 [s]
1	12	N.	N.	N.	N.	4	N.	1	12	N.	N.	3
2	2	N.	1	2	3	3	13	3	5	3	N.	1
3	2	N.	1	1	2	2	1	1	2	4	N.	1
4	2	N.	1	4	1	1	12	1	4	2	13	8
5	N.	N.	1	N.	6	2	7	1	12	7	N.	4
6	2	N.	1	1	2	1	4	2	3	3	4	2
7	1	N.	1	2	2	2	4	2	2	2	N.	2
8	7	19	1	2	3	2	4	1	5	2	13	2
9	2	10	1	2	8	4	N.	1	2	5	N.	2
10	5	5	1	2	N.	5	9	3	3	8	N.	3
11	3	3	1	3	2	2	2	1	3	4	2	2
12	9	N.	1	3	4	N.	N.	N.	8	N.	N.	3
13	N.	N.	2	1	N.	N.	N.	4	4	4	N.	1
14	N.	N.	1	2	N.	N.	N.	2	1	N.	N.	2
15	N.	N.	1	3	N.	2	N.	2	2	N.	6	2
16	3	6	1	3	6	N.	4	2	6	2	2	3
17	2	N.	1	3	2	4	21	2	4	3	6	2
18	N.	N.	1	N.	2	2	3	1	2	2	N.	2
19	2	7	1	2	1	3	4	1	1	2	N.	1
20	1	N.	1	2	8	N.	N.	1	N.	2	N.	3
21	2	N.	1	5	3	3	5	2	2	3	N.	2
22	3	N.	N.	4	N.	3	6	2	20	N.	N.	2
23	6	N.	1	3	10	10	2	1	N.	6	N.	2
24	2	N.	1	1	6	2	4	2	N.	5	N.	2
25	1	N.	1	1	N.	1	N.	1	3	2	N.	2
26	N.	N.	1	3	5	N.	4	2	3	24	15	2
27	8	N.	1	2	11	11	5	2	5	4	4	5
28	2	N.	1	1	N.	N.	N.	3	N.	2	N.	5
29	2	N.	1	2	N.	3	10	2	3	2	N.	2
30	1	N.	2	1	2	3	N.	2	6	2	N.	1

Největší problémy u tohoto vozu dělaly respondentům úkoly 2, 7, a 11. Úkol 7 („Zapněte mlhová světla.“) se nepodařilo splnit 10 (33,33 %) respondentům a úkol 11 („Vypněte stabilizační systém.“) nesplnilo 21 (70 %) z nich.

Úplně největší problémy dělalo respondentům splnění úkolu 2 („Otevřete kapotu motoru.“). Úkol se nepodařilo splnit 24 (80 %) respondentům. Nejrychlejší čas splnění tohoto úkolu byly 3 sekundy, nejpomalejší 19 sekund a průměrný 8,33 sekund. Pouze 6 respondentům se podařilo tento úkol na tomto vozu splnit, což z něj činí úkol s celkovou nejnižší úspěšností ze všech měření na všech zkoumaných vozidlech, tedy pouhých 20 %. Obrázek 23 a 24 znázorňuje teplotní mapu (heat map) a fixace se sakádami měření respondenta 17 během plnění úkolu 2.

Obrázek 23: Respondent 17, úkol 2, Honda CR-V teplotní mapa (Zdroj: Vlastní)



Obrázek 24: Respondent 17, úkol 2, Honda CR-V fixace a sakády (Zdroj: Vlastní)



Respondenti často hledali páku pro otevření kapoty motoru na správném místě, ale páka je tak nevhodně umístěná, že z místa řidiče není vůbec vidět, a zároveň je takřka nemožné se k ní dostat, aniž by uživatel vystoupil ven z vozidla, a i tak je těžké ji spatřit. Respondenti často zaměňovali tento ovladač za páčku pro otevírání krytky palivové nádrže. Paradoxně je tento ovladač mnohem lépe viditelný z místa spolujezdce, ale tak by to rozhodně nemělo být. Naštěstí nejde o zásadní ovladač, který by řidič potřeboval používat během jízdy, ale i přesto je jeho umístění zcela nevhodné, protože i když řidič ví o jeho umístění, je pro něj, díky špatné viditelnosti a dostupnosti, velmi obtížné ho použít. Výrobci vozidel Honda však tento problém naštěstí vyřešili, jak je vidět u novějšího vozu Honda CR-V Hybrid dále, kde je umístění tohoto ovladače výrazně vhodnější a jeho nalezení nedělalo respondentům zdaleka takové problémy.

6.3 Honda CR-V Hybrid

Vůz Honda CR-V Hybrid byl zdaleka nejmladším zkoumaným automobilem experimentu. Vozidlo bylo vždy 3. měřeným vozem experimentu. Pořadí úkolů pro tento vůz bylo v porovnání se základním pořadím úkolů: 11, 3, 5, 4, 1, 2, 8, 6, 7, 10, 9, 12. Jedná se o nejmodernější ze zkoumaných vozidel a zásadně si od předchozích 2 liší tím, že má automatický systém řazení, což občas respondenty lehce zmátlo, ale i přesto všichni kromě jednoho (3,33 %) respondenta úspěšně splnili úkol 12 („Zařad'te zpátečku.“). Následuje tabulka 4, kde jsou vidět výsledky měření tohoto vozidla.

Tabulka 4: Honda CR-V Hybrid výsledky měření (Zdroj: Vlastní)

Honda CR-V Hybrid												
R.	Ú. 1 [s]	Ú. 2 [s]	Ú. 3 [s]	Ú. 4 [s]	Ú. 5 [s]	Ú. 6 [s]	Ú. 7 [s]	Ú. 8 [s]	Ú. 9 [s]	Ú. 10 [s]	Ú. 11 [s]	Ú. 12 [s]
1	N.	2	N.	N.	N.	N.	N.	1	N.	23	N.	28
2	1	2	1	2	2	2	4	3	4	2	N.	4
3	1	2	1	1	2	2	4	1	1	1	19	2
4	2	6	1	2	1	2	7	2	1	3	3	5
5	N.	9	1	N.	1	3	8	3	4	3	15	10
6	2	3	1	1	1	1	2	2	2	1	1	3
7	1	3	4	1	1	2	3	2	2	2	4	8
8	2	2	1	2	1	2	2	2	2	1	6	4
9	4	4	2	2	5	2	6	1	2	2	1	3
10	3	5	2	3	N.	N.	4	2	2	5	1	3
11	N.	2	1	N.	1	3	2	1	2	4	3	2
12	N.	7	1	N.	5	N.	N.	N.	1	N.	N.	7
13	N.	3	1	1	N.	9	N.	1	N.	7	4	7
14	N.	N.	5	4	N.	N.	N.	2	3	5	N.	N.
15	1	4	2	3	1	N.	3	3	4	N.	N.	2
16	2	2	4	2	3	N.	3	2	2	4	4	4
17	2	2	1	2	2	3	3	3	2	3	5	3
18	1	1	1	1	1	N.	N.	1	2	2	12	2
19	2	2	1	1	1	N.	3	3	1	1	3	5
20	2	2	1	2	3	N.	N.	1	5	3	N.	11
21	1	3	2	3	3	N.	N.	2	1	2	N.	11
22	4	1	N.	2	N.	2	N.	1	1	1	N.	3
23	3	2	1	4	1	11	3	1	4	3	N.	1
24	2	4	1	2	2	2	2	2	2	4	N.	6
25	1	2	1	1	N.	2	3	1	1	2	7	2
26	1	3	2	3	1	4	5	2	1	1	4	4
27	6	2	2	2	1	11	3	1	3	2	2	11
28	2	N.	2	N.	N.	2	N.	2	4	2	N.	3
29	2	2	1	1	4	2	N.	2	2	2	N.	2
30	2	2	1	3	2	N.	N.	2	1	4	N.	2

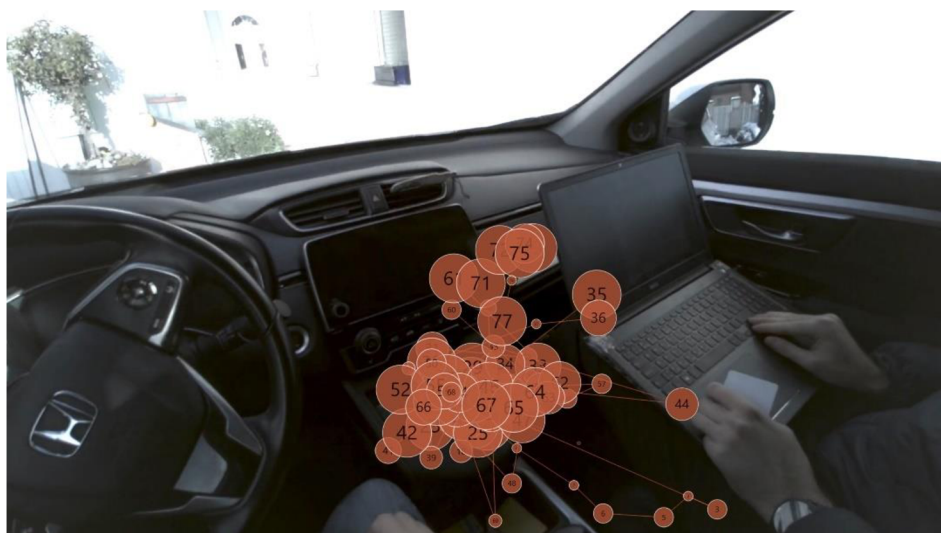
Největší problémy u tohoto vozu dělaly respondentům úkoly 6, 7, a 11. Úkol 6 („Najděte ovládání ostříkovačů.“) i 7 („Zapněte mlhová světla.“) se nepodařilo splnit 11 (36,67 %) respondentům.

Úplně největší problémy dělalo respondentům splnění úkolu 11 („Vypněte stabilizační systém.“). Úkol se nepodařilo splnit 13 (43,33 %) respondentům. Nejrychlejší čas splnění tohoto úkolu byla 1 sekunda, nejpomalejší 19 sekund a průměrný 5,53 sekund. Obecně úkol 11 dělал respondentům napříč všemi měřeními problém, protože nevěděli, co stabilizační systém je, natož jak vypadá ovladač pro jeho vypnutí a kde ho hledat. Obrázek 25 a 26 znázorňuje teplotní mapu (heat map) a fixace se sakádami měření respondenta 24 během plnění úkolu 11.

Obrázek 25: Respondent 13, úkol 11, Honda CR-V Hybrid teplotní mapa (Zdroj: Vlastní)



Obrázek 26: Respondent 13, úkol 11, Honda CR-V Hybrid fixace a sakády (Zdroj: Vlastní)



6.4 Porovnání vozidel

Testovaná vozidla se od sebe vzájemně liší, ať už výrobcem, stářím, typem nebo způsobem řazení. Není tedy překvapivé, že dosáhla odlišných výsledků. Následující tabulky 5, 6 a 7 znázorňují celkové výsledky, kterých zkoumané vozy dosáhly.

Kvůli své velikosti byly tabulky upraveny tak, aby se vešly do tohoto textu. Bylo užito následujících zkratk: **P.Ú.** = Průměr Úkolu; **N.Ú.** = Nenašel Úkol; **C.P.Č.** = Celkový Průměrný Čas a **C.N.** = Celkem Nenašlo.

Tabulka 5: Volkswagen Caddy celkové výsledky (Zdroj: Vlastní)

Volkswagen Caddy												
P.Ú. 1 [s]	P.Ú. 2 [s]	P.Ú. 3 [s]	P.Ú. 4 [s]	P.Ú. 5 [s]	P.Ú. 6 [s]	P.Ú. 7 [s]	P.Ú. 8 [s]	P.Ú. 9 [s]	P.Ú. 10 [s]	P.Ú. 11 [s]	P.Ú. 12 [s]	C.P.Č.
3,50	5,88	1,46	1,96	4,67	3,36	4,83	3,76	10,55	2,89	5,29	3,13	3,79
N.Ú. 1	N.Ú. 2	N.Ú. 3	N.Ú. 4	N.Ú. 5	N.Ú. 6	N.Ú. 7	N.Ú. 8	N.Ú. 9	N.Ú. 10	N.Ú. 11	N.Ú. 12	C.N.
0	5	2	2	12	2	18	1	19	11	16	0	88

Tabulka 6: Honda CR-V celkové výsledky (Zdroj: Vlastní)

Honda CR-V												
P.Ú. 1 [s]	P.Ú. 2 [s]	P.Ú. 3 [s]	P.Ú. 4 [s]	P.Ú. 5 [s]	P.Ú. 6 [s]	P.Ú. 7 [s]	P.Ú. 8 [s]	P.Ú. 9 [s]	P.Ú. 10 [s]	P.Ú. 11 [s]	P.Ú. 12 [s]	C.P.Č.
3,42	8,33	1,07	2,26	4,24	3,26	6,20	1,76	4,73	4,20	7,22	2,47	3,47
N.Ú. 1	N.Ú. 2	N.Ú. 3	N.Ú. 4	N.Ú. 5	N.Ú. 6	N.Ú. 7	N.Ú. 8	N.Ú. 9	N.Ú. 10	N.Ú. 11	N.Ú. 12	C.N.
6	24	2	3	9	7	10	1	4	5	21	0	92

Tabulka 7: Honda CR-V Hybrid celkové výsledky (Zdroj: Vlastní)

Honda CR-V Hybrid												
P.Ú. 1 [s]	P.Ú. 2 [s]	P.Ú. 3 [s]	P.Ú. 4 [s]	P.Ú. 5 [s]	P.Ú. 6 [s]	P.Ú. 7 [s]	P.Ú. 8 [s]	P.Ú. 9 [s]	P.Ú. 10 [s]	P.Ú. 11 [s]	P.Ú. 12 [s]	C.P.Č.
2,08	3,00	1,61	2,04	1,96	3,53	3,68	1,79	2,21	3,39	5,53	5,45	2,94
N.Ú. 1	N.Ú. 2	N.Ú. 3	N.Ú. 4	N.Ú. 5	N.Ú. 6	N.Ú. 7	N.Ú. 8	N.Ú. 9	N.Ú. 10	N.Ú. 11	N.Ú. 12	C.N.
6	2	2	5	7	11	11	1	2	2	13	1	63

Celkově se měření každého vozidla skládalo ze 360 provedených úkolů. Nejhůře v tomto ohledu dopadl vůz Honda CR-V, kde se respondentům nepodařilo splnit 92 (25,56 %) úkolů. Starší Volkswagen Caddy se překvapivě umístil o trochu lépe a to s 88 (24,44 %) nesplněnými úkoly. S větším odstupem dopadl nejlépe automobil Honda CR-V Hybrid se 63 (17,5 %) nesplněnými úkoly.

Honda CR-V Hybrid dosáhla nejlepších výsledků, i co se týče celkového průměrného času úspěšně splněných úkolů. Respondenti na tomto vozidle průměrně splnili úkol za 2,94 sekund. Honda CR-V dopadla o něco hůře, úspěšně splněný úkol na ní průměrně trval 3,47 sekund. Nejhůře dopadl Volkswagen Caddy se 3,79 sekundami.

Úkol 1 („Zapněte přední stěrače.“) a 12 („Zařaďte zpátečku.“) se povedlo na Volkswagenu splnit všem respondentům. Stejně tak se všem povedlo splnit úkol 12 i na Hondě CR-V. Honda CR-V Hybrid sice neměla ani jeden úkol bez toho, aby ho alespoň 1 respondent nesplnil, za to však měla nejmenší neúspěšnost u úkolu, který byl na daném vozidle nejméně úspěšný. Tedy pouze 43,33 % (13 N.) oproti 80 % (24 N.) u Hondy CR-V a 63,33 % (19 N.) u Volkswagenu Caddy.

Výstražná světla by se z hlediska bezpečnosti dala považovat za nejdůležitější ze zkoumaných ovladačů. Všechna 3 zkoumaná vozidla dosáhla v úkolu 3 („Zapněte výstražná světla.“) podobných výsledků. Úkol se na každém z nich nepodařilo splnit pouze 2 (6,67 %) respondentům. Nejlepšího průměrného času splnění tohoto úkolu dosáhla Honda CR-V s 1,07 sekundami. Volkswagen Caddy skončil 2. s 1,46 sekundami a Honda CR-V Hybrid se umístila v tomto ohledu poslední s 1,61 sekundami. Všechny 3 tyto výsledky se však dají považovat za dobré.

Splnění úkolu 2 („Otevřete kapotu motoru.“) bylo u Hondy CR-V zdaleka největším problémem a povedlo se ho splnit pouze 20 % respondentů. Honda CR-V Hybrid již tímto problémem netrpěla. Je tedy jasně vidět pozitivní vývoj tohoto vozu, kterého je experiment jasným důkazem. Úkol 2 se totiž povedlo na Hondě CR-V Hybrid splnit všem kromě 2 (6,67 %) respondentů, což je drastický rozdíl oproti staršímu modelu.

7 Závěr

Diplomová práce si kladla za svůj hlavní cíl vytvořit teoretický rozbor problematiky ergonomie ve vozidlech a jejího vlivu na pozornost řidiče, čehož bylo úspěšně dosaženo.

Dále byla snaha vytvořit teoretický přehled ergonomie obecně, prozkoumat různé faktory způsobující rozptýlení řidiče uvnitř i v okolí vozidla a teoreticky analyzovat metody eye trackingu a jejich historický vývoj. Tyto dílčí cíle se rovněž podařilo splnit.

Praktická část diplomové práce se zaměřovala na průzkum a porovnání vozidel Volkswagen Caddy, Honda CR-V a Honda CR-V Hybrid. Konkrétně bylo zkoumáno 12 různých ovládacích prvků těchto automobilů. Experimentu se zúčastnilo 30 osob různého pohlaví, věku a řidičských zkušeností. Měření a následné zpracování spolu s analýzou dat bylo provedeno za pomoci eye-trackingových brýlí Tobii Pro Glasses 3 a přidružených softwarů a zařízení.

Nejlepších výsledků dosáhlo vozidlo Honda CR-V Hybrid. Nejvýznamnějším kritériem pro toto hodnocení je fakt, že se na tomto vozidle podařilo splnit nejvyšší celkové množství úkolů, a to 297 (82,5 %) z 360. Na 2. místě v tomto ohledu skončil vůz Volkswagen Caddy s 272 (75,56 %) úspěšně splněnými úkoly a nejhůře dopadla Honda CR-V na které jich respondenti celkově splnili 268 (74,44 %).

Oba starší vozy dosáhly velice podobných výsledků, o tom vypovídá i fakt, že je od sebe dělí pouze 4 roky stáří. Úspěch a vítězství Hondy CR-V Hybrid je pozitivní, protože je jasně vidět, že vývoj jde vpřed správným směrem a výrobci automobilů se poučili za svých chyb z minulosti a vozidla se neustále zlepšují na poli ergonomie, a tak řidiči poskytují lepší prostředí a podmínky pro klidnou a nerušenou cestu a užívání automobilu s minimálním rizikem rušivých a rozptylujících prvků, které by mohly pro svou nevhodnou polohu narušit řidičovu pozornost během řízení.

Nicméně, je třeba si uvědomit, že tato diplomová práce není konečným bodem v diskusi o ergonomii vozidel a pozornosti řidiče. Naopak, poskytuje základ pro další výzkum a inovace v této oblasti. Budoucí studie by měly zkoumat další aspekty této problematiky a provádět další rozsáhlejší experimenty s cílem dosáhnout ještě komplexnějších a přehlednějších výsledků. Ergonomie a vozidla se neustále vyvíjí a doufám, že tato diplomová práce přispěje k lepšímu pochopení této problematiky a poskytne podnět pro další výzkum v této důležité oblasti.

8 Seznam použitých zdrojů

- [1] IEA (INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION). *What Is Ergonomics (HFE)?* [online]. 2000 [vid. 2023-11-19]. Dostupné z: <https://iea.cc/about/what-is-ergonomics/>
- [2] DUTTA, Ashish a A.P.S. RATHORE. Estimating Ergonomic Compatibility of Cars: A Fuzzy Approach. *Procedia Computer Science* [online]. 2020, **167**, 506–515. ISSN 18770509. Dostupné z: doi:10.1016/j.procs.2020.03.270
- [3] ČESKÁ ERGONOMICKÁ SPOLEČNOST. Co je to ergonomie. *BOZP* [online]. 12. květen 2004 [vid. 2023-11-05]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/co-je-ergonomie>
- [4] IEA (INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION), ILO (International Labour Office). *Principles and guidelines for human factors/ergonomics (HFE) design and management of work systems* [online]. 2021 [vid. 2023-12-09]. Dostupné z: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_dialogue/---lab_admin/documents/publication/wcms_826596.pdf
- [5] DUL, Jan, Ralph BRUDER, Peter BUCKLE, Pascale CARAYON, Pierre FALZON, William S. MARRAS, John R. WILSON a Bas VAN DER DOELEN. A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession. *Ergonomics* [online]. 2012, **55**(4), 377–395. ISSN 0014-0139. Dostupné z: doi:10.1080/00140139.2012.661087
- [6] HENDRICK, Hal W. Determining the cost–benefits of ergonomics projects and factors that lead to their success. *Applied Ergonomics* [online]. 2003, **34**(5), 419–427. ISSN 00036870. Dostupné z: doi:10.1016/S0003-6870(03)00062-0
- [7] TAMRIN, Shamsul Bahri M., Kazuhito YOKOYAMA, Nasaruddin AZIZ a Setsuo MAEDA. Association of Risk Factors with Musculoskeletal Disorders among Male Commercial Bus Drivers in Malaysia. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries* [online]. 2014, **24**(4), 369–385. ISSN 1090-8471. Dostupné z: doi:10.1002/hfm.20387
- [8] DE CARVALHO, Diana E. a Jack P. CALLAGHAN. Spine Posture and Discomfort During Prolonged Simulated Driving With Self-Selected Lumbar Support Prominence. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* [online]. 2015, **57**(6), 976–987. ISSN 0018-7208. Dostupné z: doi:10.1177/0018720815584866
- [9] KOPPEL, Sjaanie, Judith CHARLTON, Brian FILDES a Michael FITZHARRIS. How important is vehicle safety in the new vehicle purchase process? *Accident Analysis & Prevention* [online]. 2008, **40**(3), 994–1004. ISSN 00014575. Dostupné z: doi:10.1016/j.aap.2007.11.006
- [10] HURWITZ, D. S., A. PRADHAN, D. L. FISHER, M. A. KNODLER, J. W. MUTTART, R. MENON a U. MEISSNER. Backing collisions: a study of drivers' eye and backing behaviour using combined rear-view camera and sensor systems. *Injury Prevention* [online]. 2010, **16**(2), 79–84. ISSN 1353-8047. Dostupné z: doi:10.1136/ip.2009.021535

- [11] SEWALL, Ashley A Stafford, Stephanie A Whetsel BORZENDOWSKI a Richard A TYRRELL. The Accuracy of Drivers' Judgments of the Effects of Headlight Glare on Their Own Visual Acuity. *Perception* [online]. 2014, **43**(11), 1203–1213. ISSN 0301-0066. Dostupné z: doi:10.1068/p7814
- [12] ZADEH, L.A. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems* [online]. 1978, **1**(1), 3–28. ISSN 01650114. Dostupné z: doi:10.1016/0165-0114(78)90029-5
- [13] WANG, J. Fuzzy outranking approach to prioritize design requirements in quality function deployment. *International Journal of Production Research* [online]. 1999, **37**(4), 899–916. ISSN 0020-7543. Dostupné z: doi:10.1080/002075499191599
- [14] KHALID, Halimahtun M. a Martin G. HELANDER. A framework for affective customer needs in product design. *Theoretical Issues in Ergonomics Science* [online]. 2004, **5**(1), 27–42. ISSN 1463-922X. Dostupné z: doi:10.1080/1463922031000086744
- [15] XU, Qianli, Roger J. JIAO, Xi YANG, Martin HELANDER, Halimahtun M. KHALID a Anders OPPERUD. An analytical Kano model for customer need analysis. *Design Studies* [online]. 2009, **30**(1), 87–110. ISSN 0142694X. Dostupné z: doi:10.1016/j.destud.2008.07.001
- [16] VIVEK D. BHISE. *ERGONOMICS in the Automotive Design Process* [online]. B.m.: CRC Press Taylor & Francis Group, 2012 [vid. 2024-01-03]. Dostupné z: <https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/ip/BUKU%20ERGONOMI/BUKU%20INGGRIS/Ergonomics%20in%20the%20Automotive%20Design%20Process.pdf>
- [17] FITTS AND JONES. *Analysis of Factors Contributing to 460 „pilot-error“ Experiences in Operating Aircraft Controls*. B.m.: Army Air Forces Headquarters, Air Material Command, Engineering Division, 1947.
- [18] EBY, David W. a Barry H. KANTOWITZ. Human Factors and Ergonomics in Motor Vehicle Transportation. In: *Handbook of Human Factors and Ergonomics* [online]. B.m.: Wiley, 2006, s. 1538–1569. Dostupné z: doi:10.1002/0470048204.ch59
- [19] E. D. SUSSMAN, H. BISHOP, B. MADNICK, and R. WALTER. Driver Inattention and Highway Safety. 1985, 40–48.
- [20] STUTTS, J. C., Reinfurt, D. W., and Rodgman, E. A. The Role of Driver Distraction in Crashes: An Analysis of 1995–1999 Crashworthiness Data System Data. 2001, 287–301.
- [21] GLAZE, A L, Ellis, J M. PILOT STUDY OF DISTRACTED DRIVERS [online]. 2003 [vid. 2024-01-04]. Dostupné z: <https://trid.trb.org/view/660576>
- [22] DOHERTY, Sean T., Jean C. ANDREY a Carolyn MACGREGOR. The situational risks of young drivers: The influence of passengers, time of day and day of week on accident rates. *Accident Analysis & Prevention* [online]. 1998, **30**(1), 45–52. ISSN 00014575. Dostupné z: doi:10.1016/S0001-4575(97)00060-2

- [23] JOSH HOWARTH. How Many People Own Smartphones? (2024-2029) [online]. 2023 [vid. 2024-03-26]. Dostupné z: <https://explodingtopics.com/blog/smartphone-stats>
- [24] STEVENS, Alan a Roy MINTON. In-vehicle distraction and fatal accidents in England and Wales. *Accident Analysis & Prevention* [online]. 2001, **33**(4), 539–545. ISSN 00014575. Dostupné z: doi:10.1016/S0001-4575(00)00068-3
- [25] GENERAL ASSEMBLY OF THE COMMONWEALTH OF PENNSYLVANIA JOINT STATE GOVERNMENT COMMISSION. DRIVER DISTRACTIONS AND TRAFFIC SAFETY [online]. 2001 [vid. 2024-01-04]. Dostupné z: <http://jsg.legis.state.pa.us/resources/documents/ftp/publications/2001-60-distract.pdf>
- [26] POPELKA, Stanislav. *Eye-tracking (nejen) v kognitivní kartografii* [online]. Křížkovského 8, 771 47 Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2018. ISBN 978-80-244-5313-2. Dostupné z: doi:10.5507/prf.18.24453132
- [27] BIEDERT, Ralf, Georg BUSCHER a Andreas DENGEL. The eyeBook – Using Eye Tracking to Enhance the Reading Experience. *Informatik-Spektrum* [online]. 2010, **33**(3), 272–281. ISSN 0170-6012. Dostupné z: doi:10.1007/s00287-009-0381-2
- [28] IWASAKI, M a H INOMATA. Relation between superficial capillaries and foveal structures in the human retina. *Investigative ophthalmology & visual science*. 1986, **27**(12), 1698–705. ISSN 0146-0404.
- [29] VAN DER GEEST, Josef Nicolaas, Chantal KEMNER, Gert CAMFFERMAN, Marinus Nicolaas VERBATEN a Herman VAN ENGELAND. Eye movements, visual attention, and autism: a saccadic reaction time study using the gap and overlap paradigm. *Biological Psychiatry* [online]. 2001, **50**(8), 614–619. ISSN 00063223. Dostupné z: doi:10.1016/S0006-3223(01)01070-8
- [30] HAMMOUD, Riad I. *Passive Eye Monitoring* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008. ISBN 978-3-540-75411-4. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-540-75412-1
- [31] MGR. KRÁLOVÁ, Magda. ARISTOTELES ZE STAGEIRY [online]. nedatováno [vid. 2024-02-10]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/vedec/1049/aristoteles>
- [32] WEBSTER, Colin. Ptolemy's Optics, double-vision, and the technological afterimage. *Studies in History and Philosophy of Science* [online]. 2022, **94**, 191–200. ISSN 00393681. Dostupné z: doi:10.1016/j.shpsa.2022.06.011
- [33] WADE, Nicholas J. Pioneers of Eye Movement Research. *i-Perception* [online]. 2010, **1**(2), 33–68. ISSN 2041-6695. Dostupné z: doi:10.1068/i0389
- [34] GLENSTRUP, A. J., Engell-Nielsen, T. Eye Controlled Media: Present and Future State [online]. 1995 [vid. 2024-02-10]. Dostupné z: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:53846618>
- [35] YOUNG, Laurence R. a David SHEENA. Eye-movement measurement techniques. *American Psychologist* [online]. 1975, **30**(3), 315–330. ISSN 1935-990X. Dostupné z: doi:10.1037/0003-066X.30.3.315

- [36] MIND MEDIA. *EOG* [online]. [vid. 2024-02-10]. Dostupné z: <https://www.mindmedia.com/en/solutions/research/eog/>
- [37] YARBUS, A. L., Haigh, B., Riggs, L. A. Eye movements and vision. *New York: Plenum press*. 1967, **2**.
- [38] TOBII AB. Tobii Pro Glasses 3 Product Description [online]. 2024 [vid. 2024-02-28]. Dostupné z: <https://go.tobii.com/tobii-pro-glasses3-product-description>
- [39] TOBII AB. *Tobii Pro Glasses 3 Developer Guide* [online]. duben 2023 [vid. 2024-02-28]. Dostupné z: <https://go.tobii.com/tobii-pro-glasses-3-developer-guide>
- [40] TOBII AB. Glasses 3 Controller [online]. 2024 [vid. 2024-02-28]. Dostupné z: https://connect.tobii.com/s/g3-downloads?language=en_US
- [41] AUTO MOTOR UND SPORT. *VOLKSWAGEN CADDY* [online]. 16. duben 2016 [vid. 2024-02-28]. Dostupné z: <https://www.ams.bg/snimki/volkswagen-caddy-111879?photo=111880>
- [42] AUTONOTO S.R.O. *Honda CR-V* [online]. 12. červenec 2023 [vid. 2024-02-28]. Dostupné z: <https://autonoto.cz/honda/cr-v/suv/nafta/708438>
- [43] ACURA. *Osobní vozy Honda* [online]. září 2021 [vid. 2024-02-28]. Dostupné z: <https://acura.cz/osobni-vozy-honda/>
- [44] TOBII AB. *TOBII PRO LAB* [online]. 2023 [vid. 2024-03-02]. Dostupné z: <https://www.tobii.com/products/software/behavior-research-software/tobii-pro-lab>