

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
TECHNICKÁ FAKULTA

Katedra technologických zařízení staveb

DISERTAČNÍ PRÁCE

2024

Ing. Jakub POVÝŠIL

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
TECHNICKÁ FAKULTA

Katedra technologických zařízení staveb

**Posouzení použitelnosti technologie digitálních zrcátek
u vozidel nebo zemědělských strojů a jejich vliv na lidské
vnímání s ohledem na ergonomii a bezpečnost provozu**

Assessment of the Applicability of Digital Mirror Technology in
Vehicles or Agricultural Machinery and Their Impact on Human
Reception with Regards to Ergonomics and Traffic Safety

Disertační práce

Obor:	Technika výrobních procesů
Student:	Ing. Jakub Povýšil
Školitel:	doc. Ing. Petr Vaculík, Ph.D.
Školitel specialista:	Ing. Michal Hruška, Ph.D.

Praha 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci vypracoval samostatně pod vedením školitele práce a uvedl jsem veškerou použitou literaturu. Jako autor této disertační práce dále prohlašuji, že jsem při jejím vytváření neporušil autorská práva třetích osob. Tištěná a elektronická verze práce se doslovně shodují.

V Praze

.....

podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé disertační práce a školiteli panu doc. Ing. Petru Vaculíkovi, Ph.D. z katedry technologických zařízení staveb za odborné rady, podněty k řešení práce a poznámky, které mi poskytoval v průběhu vypracování mé disertační práce. Zvláštní poděkování patří panu Ing. Michalu Hruškovi, Ph.D. z katedry technologických zařízení staveb za pomoc a užitečné rady při vypracování práce. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Martinu Fůsovi, Ph.D. z fakulty biomechanického inženýrství ČVUT a panu prof. MUDr. Jiřímu Řehákovi, CSc., FEBO z oční kliniky fakultní nemocnice Olomouc, s nimiž jsem v průběhu vypracování konzultoval postup mé práce.

ABSTRAKT

Práce se zaměřuje na podrobnou analýzu použitelnosti technologie digitálních bočních zrcátek v osobních automobilech a zemědělských strojích ve srovnání s konvenčními zpětnými zrcátky. Výzkum byl proveden na heterogenní skupině účastníků, která se skládala převážně z univerzitních studentů, zaměstnanců a pracovníků v oblasti automotive. Studie zahrnovala laboratorní měření ke zhodnocení rychlosti akomodace oka a přesnosti čtení obou typů zrcátek. Výsledky odhalily statisticky významné rozdíly v rychlosti akomodace při čtení dat z konvenčních a digitálních zrcátek, což naznačuje, že testovaná digitální technologie může nepříznivě ovlivnit bezpečnost silničního provozu.

Dále práce hodnotí použitelnost technologie digitálních bočních zrcátek na základě zpětné vazby od řidičů prostřednictvím dotazníků a experimentálního šetření. Tato část výzkumu se zaměřila na porozumění reakcím a preferencím řidičů vůči nové technologii na základě osobních zkušeností. Analýza těchto dat měla za cíl odhalit především závislosti týkající se pohodlí a důvěry řidičů při používání digitálních zrcátek.

Práce také posuzuje vliv digitálních zrcátek při parkovacích manévrech – jak při paralelním, tak při kolmém parkování – provedených na uzavřeném testovacím polygonu. Klíčové parametry, jako je čas potřebný k dokončení parkovacího manévru a přesnost umístění vozidla, byly zaznamenávány a následně vyhodnoceny za pomoci statistických metod, které odhalily významné rozdíly. Získané výsledky potvrdily, že parkování s digitálními zrcátky vedlo k nižší přesnosti a delšímu času potřebnému k dokončení manévru ve srovnání s konvenčními zrcátky. Tyto výsledky naznačují, že ačkoli digitální zrcátka představují technologický pokrok, jejich praktická použitelnost může být omezená, zejména při plnění dopravních úkolů, které vyžadují vysokou preciznost ovládání vozidla. Práce tedy zdůrazňuje nezbytnost dalšího výzkumu a zdokonalování technologie digitálních zrcátek, aby se zlepšila jejich integrace do každodenního řízení a zajistilo se, že poskytují srovnatelné nebo větší pohodlí a bezpečnost než tradiční zrcátka.

Klíčová slova:

digitální zrcátka, použitelnost, ergonomie, akomodace, kognitivní funkce, bezpečnost, technologické inovace

ABSTRACT

The thesis focuses on a detailed analysis of the applicability of digital side mirror technology in passenger cars and agricultural machinery compared to conventional rear-view mirrors. The research was conducted on a heterogeneous group of participants, which consisted mainly of university students, employees and automotive workers. The study included laboratory measurements to evaluate the rate of accommodation and reading accuracy of both types of mirrors. The results revealed statistically significant differences in the rate of accommodation when reading data from conventional and digital mirrors, suggesting that the digital technology being tested may adversely affect road safety.

Furthermore, the paper evaluates the usability of digital side mirror technology based on feedback from drivers through questionnaires and an experimental investigation. This part of the research focused on understanding drivers' reactions and preferences towards the new technology, based on personal experiences. The analysis of this data was mainly aimed at revealing dependencies related to drivers' comfort and confidence in using digital mirrors.

The work also assesses the effect of digital mirrors during parking manoeuvres - both parallel and perpendicular parking - performed on a closed test polygon. Key parameters such as the time taken to complete the parking manoeuvre and the accuracy of vehicle positioning were recorded and then evaluated using statistical methods, revealing statistically significant differences. The results obtained confirmed that parking with digital mirrors resulted in lower accuracy and longer time taken to complete the manoeuvre compared to conventional mirrors. These results suggest that although digital mirrors represent a technological advance, their practical applicability may be limited, especially in traffic tasks that require high precision vehicle control. The work therefore highlights the need for further research and refinement of digital mirror technology to improve their integration into everyday driving and ensure that they provide comparable or greater convenience and safety than traditional mirrors.

Key words:

digital mirrors, usability, ergonomics, accommodation, cognitive functions, safety, technological innovations

OBSAH

1	ÚVOD.....	1
2	PŘEHLED O SOUČASNÉM STAVU POZNÁNÍ.....	3
2.1	Ergonomie.....	4
2.1.1	Oblasti ergonomie.....	6
2.2	Ergonomie jako systémový obor.....	7
2.3	Zrak.....	8
2.3.1	Anatomie lidského oka.....	9
2.4	Akomodace.....	12
2.4.1	Mechanismus akomodace.....	13
2.4.2	Akomodace oka – daleký a blízký bod.....	14
2.5	Refrakční vady.....	14
2.6	Optika v rámci zkoumané technologie.....	16
2.6.1	Optika konvenčních zrcátek.....	16
2.6.2	Optika digitálních zrcátek.....	16
2.6.3	Kombinace optických a digitálních systémů.....	17
2.6.4	Senzorická a adaptivní optika.....	18
2.6.5	Optická mohutnost.....	18
2.6.6	Sledování úhlu pohledu – Eyetracking.....	19
2.6.7	Zařízení pro sledování úhlu pohledu.....	20
2.6.8	Funkce zařízení pro sledování úhlu pohledu.....	21
2.7	Zpětná zrcátka.....	22
2.7.1	Počátky zpětných zrcátek.....	22
2.7.2	Legislativní požadavky na zpětná zrcátka.....	23
2.8	Konvenční zpětná zrcátka.....	34
2.8.1	Materiály a konstrukční technologie.....	34
2.8.2	Konvenční vnitřní zrcátko.....	35
2.8.3	Konvenční vnější zrcátka.....	35
2.9	Digitální zpětná zrcátka.....	36

2.9.1	Materiály a konstrukční technologie.....	36
2.9.2	Digitální zrcátko vnitřní.....	37
2.9.3	Digitální zrcátka vnější.....	39
2.9.4	Technologická omezení digitálních zrcátek.....	48
3	CÍLE PRÁCE A VĚDECKÉ HYPOTÉZY.....	50
3.1	Cíle práce.....	50
3.2	Vědecké hypotézy.....	51
4	MATERIÁLY A METODY.....	52
4.1	Akomodace.....	54
4.1.1	Umístění.....	55
4.1.2	Popis zařízení.....	55
4.1.3	Metodika měření.....	61
4.2	Parkování.....	63
4.2.1	Umístění.....	64
4.2.2	Popis zařízení.....	65
4.2.3	Metodika měření.....	66
4.3	Předjíždění.....	71
4.3.1	Umístění.....	71
4.3.2	Popis zařízení.....	71
4.3.3	Metodika měření.....	72
4.4	Dotazníky.....	74
4.5	Expertní testování nákladních vozů a zemědělské techniky.....	76
5	VÝSLEDKY A DISKUZE.....	77
5.1	Akomodace.....	77
5.1.1	Závislost rychlosti času čtení na technologii.....	78
5.1.2	Závislost rychlosti času čtení levé zrcátko.....	79
5.1.3	Závislost rychlosti času čtení pravé zrcátko.....	81
5.1.4	Závislost rychlosti čtení na pohlaví.....	83
5.1.5	Závislost rychlosti čtení na věku.....	89
5.1.6	Závislost rychlosti čtení textu na objektivním stavu zraku.....	92

5.2	Parkování.....	97
5.2.1	Rychlost parkování	97
5.2.2	Přesnost parkování	98
5.3	Předjíždění.....	101
5.3.1	Bezpečnost předjíždění	101
5.3.2	Čas fixace na jednotlivá zrcátka	103
5.4	Dotazníky	104
5.4.1	Závislost pocitu z digitálních zrcátek na sociodemografických údajích	106
5.4.2	Závislost mezi umístěním displejů a velikostí bydlíště	107
5.4.3	Závislost ceny za technologii digitálních zrcátek na věku	108
5.4.4	Závislost bezpečnosti technologie digitálních zrcátek na věku	109
5.4.5	Závislost bezpečnosti při parkování	110
5.4.6	Závislost bezpečnosti při provádění předjížděcího manévru.....	111
5.4.7	Závislost důvěry v obraz na parametrech řidiče	112
5.4.8	Závislost používání digitálních zrcátek při řízení na pocitech	113
5.4.9	Závislost dodatečných funkcí v zrcátkách na parametrech řidiče	114
5.5	Expertní posouzení použití u nákladních vozů a zemědělské techniky	115
5.6	Diskuze.....	117
5.6.1	Akomodace	117
5.6.2	Parkování	119
5.6.3	Předjíždění	121
5.6.4	Dotazníkové šetření	122
6	VYHODNOCENÍ CÍLŮ A HYPOTÉZ	124
7	ZÁVĚR	126
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	131
	PŘÍLOHY	144

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 1: Schéma ergonomie jako systémového oboru	7
Obr. 2: Anatomie oka	9
Obr. 3: Anatomie struktur oka podílejících se na akomodaci	12
Obr. 4: Schéma akomodace oka – změny ciliárních svalů	13
Obr. 5: Blízký a vzdálený bod u zdravého oka a při základních refrakčních vadách	15
Obr. 6: Objektiv rybí oko 166 ° (fish eye)	16
Obr. 7: Lexus ES s digitálními zrcátky v noci	17
Obr. 8: Optická soustava	18
Obr. 9: Zařízení upevněná přímo na hlavu	20
Obr. 10: Zařízení sledující pohyb očí s pevnou polohou hlavy	20
Obr. 11: Pole výhledu zrcátek třídy I	29
Obr. 12: Pole výhledu zrcátek třídy II	29
Obr. 13: Pole výhledu zrcátek třídy III	30
Obr. 14: Pole výhledu zrcátek třídy IV	31
Obr. 15: Pole výhledu zrcátek třídy V	32
Obr. 16: Pole výhledu zrcátek třídy VI	32
Obr. 17: Kamera v ploutvi na střeše vozu a vnitřní středové digitální zrcátko	37
Obr. 18: Vnitřní středové digitální zrcátko	37
Obr. 19: Cadillac CT6	38
Obr. 20: Range Rover Evoque	38
Obr. 21: Ford E-transit	39
Obr. 22: Lexus LF-1 Limitless exteriér	39
Obr. 23: Lexus LF-1 Limitless kokpit	40
Obr. 24: Kokpit vozu BMW i8	40
Obr. 25: Škoda Vision iV	41
Obr. 26: Volkswagen XL 1	41
Obr. 27: Lexus ES	41
Obr. 28: Audi E-tron.....	42
Obr. 29: Honda E	42
Obr. 30: Mercedes-Benz Actros	43
Obr. 31: Scania R500	44
Obr. 32: MAN TGX	44
Obr. 33: MAN Lion's Coach.....	44

Obr. 34: NEOPLAN Cityliner	45
Obr. 35: Scania Irizar I6s Efficient	45
Obr. 36: John Deere 8R	46
Obr. 37: MF NEXT Concept	47
Obr. 38: Caterpillar 336	48
Obr. 39: Tobii Pro Glasses 2	55
Obr. 40: Interiér vozu Škoda Superb III s digitálními zrcátky	56
Obr. 41: Interiér vozu Škoda Superb III s konvenčními zrcátky	56
Obr. 42: Umístění displejů (vlevo – pohled shora, vpravo - přední pohled)	57
Obr. 43: Signalizační světelný zdroj	57
Obr. 44: Mobilní tabule	58
Obr. 45: Ukázka složeného slova na tabuli	58
Obr. 46: Reflektor VECT DSR-4x55WT	59
Obr. 47: Schéma situace laboratorního testování akomodace	62
Obr. 48: Schéma testovací plochy	64
Obr. 49: Reálné makety vozidel byly použity k vymezení parkovacích míst	65
Obr. 50: Škoda Superb III s digitálními zrcátky	66
Obr. 51: Schématické znázornění kroků úkolu podélného parkování	68
Obr. 52: Schématické znázornění kroků úkolu kolmého parkování	69
Obr. 53: Stanovení parametrů pro hodnocení testu podélného parkování	69
Obr. 54: Stanovení parametrů pro hodnocení testu kolmého parkování	70
Obr. 55: Pohled z perspektivy řidiče na displej při jednom z parkovacích úkolů	70
Obr. 56: Schématické znázornění předjížděcího manévru 1. fáze	73
Obr. 57: Schématické znázornění předjížděcího manévru 2. fáze	74
Obr. 58: Graf věkového rozložení účastníků testování akomodace	77
Obr. 59: Graf rozdílu času čtení u levých zrcátek	79
Obr. 60: Graf rozdělení u levého digitálního a konvenčního zrcátka	80
Obr. 61: Graf rozdílu času čtení u pravých zrcátek	81
Obr. 62: Graf rozdělení u pravého digitálního a konvenčního zrcátka	81
Obr. 63: Graf závislosti času čtení na pohlaví u levého konvenčního zrcátka	83
Obr. 64: Graf závislosti času čtení na pohlaví u pravého konvenčního zrcátka	84
Obr. 65: Graf závislost času čtení na pohlaví u levého digitálního zrcátka	85
Obr. 66: Graf závislosti času čtení na pohlaví u pravého digitálního zrcátka	86
Obr. 67: Graf závislosti času přečtení na věku u levého konvenčního zrcátka	89

Obr. 68: Graf závislosti času přečtení na věku u pravého konvenčního zrcátka	90
Obr. 69: Graf závislosti času přečtení na věku u levého digitálního zrcátka	91
Obr. 70: Graf závislosti času přečtení na věku u pravého digitálního zrcátka	91
Obr. 71: Graf četnosti zrakového ostrosti	94
Obr. 72: Graf četnosti velikosti akomodace do blízka a střední vzdálenosti	94
Obr. 73: Graf četnost teoreticky vynaložené akomodace	95

SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1: Třídy zpětných zrcátek	26
Tabulka 2: Popis a specifikace přístrojů	60
Tabulka 3: Primární informace o účastnících týkající se měření.....	75
Tabulka 4: Sekundární informace o účastnících týkající se měření	75
Tabulka 5: Průměrné hodnoty časů nutných pro akomodaci u obou typů zrcátek	78
Tabulka 6: Wilcoxonův párový test rozdílu mezi LD a konvenčním zrcátkem	80
Tabulka 7: Hodnoty vzdáleností ujetých vozidlem při průměrném časovém rozdílu ...	82
Tabulka 8: Kolmogorov-Smirnovův test u levého konvenčního zrcátka	84
Tabulka 9: Kolmogorov-Smirnovův test u pravého konvenčního zrcátka	84
Tabulka 10: Kolmogorov-Smirnovův test u levého digitálního zrcátka.....	85
Tabulka 11: Kolmogorov-Smirnovův test u pravého digitálního zrcátka	86
Tabulka 12: Kolmogorov-Smirnovův test rozdílu u LD a konvenčního zrcátka	87
Tabulka 13: Kolmogorov-Smirnovův test rozdílu u PD a konvenčního zrcátka.....	87
Tabulka 14: Statistická data pro jednotlivá zpětná zrcátka, rozdělená podle pohlaví ...	88
Tabulka 15: Pearsonův test	93
Tabulka 16: Vyhodnocení rozdílů mezi konvenčními a digitálními zpětnými zrcátky .	97
Tabulka 17: Hodnocení rozdílů mezi zrcátky pro podélný parkování (přesnost).....	98
Tabulka 18: Hodnocení rozdílů mezi zrcátky pro kolmé parkování (přesnost)	99
Tabulka 19: Vzdálenosti mezi vozy č. 1 a „T“ při nájezdu do levého pruhu	102
Tabulka 20: Vzdálenosti mezi vozy č. 1 a „T“ při návratu do pravého pruhu	102
Tabulka 21: Rozdíl hodnot vzdáleností mezi vozy č. 1 a „T“ s oběma druhy zpětných zrcátek a statistické vyhodnocení	102
Tabulka 22: Průměrné hodnoty celkové doby fixace obrazu při předjíždění	103
Tabulka 23: Otázky použité pro sběr klinických dat	105
Tabulka 24: Závislost celkového pocitu z technologie na parametrech řidiče	106
Tabulka 25: Závislost polohy displeje na parametrech řidiče	107
Tabulka 26: Závislost ceny za technologii digitálních zrcátek na parametrech řidiče	108
Tabulka 27: Závislost celkové bezpečnosti digitálních zrcátek na parametrech řidiče	109
Tabulka 28: Závislost bezpečnosti při parkování na parametrech řidiče.....	110
Tabulka 29: Závislost bezpečnosti při předjížděcím manévru na parametrech řidiče.	111
Tabulka 30: Závislost důvěry v digitální obraz na parametrech řidiče.....	112
Tabulka 31: Závislost používání DZ při řízení na pocitech účastníků	113
Tabulka 32: Závislost dodatečných funkcí v zrcátkách na parametrech řidiče	114

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A JEDNOTEK

€	euro (měna)
°	stupeň (úhel)
ADAS	Advanced Driver-Assistance Systems
cm	centimetr
ČR	Česká republika
ČZU	Česká zemědělská univerzita
DZ	digitální zrcátko
Elektromag	elektromagnetické
HDR	High Dynamic Range
Hz	Hertz
km·h ⁻¹	kilometr za hodinu
ks	počet kusů
LCD	Liquid Crystal Display
LD	levé digitální zrcátko
LK	levé konvenční zrcátko
m	metr
mm	milimetr
m·s ⁻¹	metr za sekundu
Obr.	obrázek
OLED	Organic Light Emitting Diode
PD	pravé digitální zrcátko
PK	pravé konvenční zrcátko
pt	pt (point size)
s	sekunda
t	čas, tuna
Tab.	tabulka
TFT-LCD	Thin-Film Transistor Liquid Crystal Display

1 ÚVOD

Automobilový průmysl prochází obdobím rychlých inovací, přičemž jedna z nejnovějších technologií, která vzbuzuje značný zájem, jsou digitální vnější zrcátka. Tato technologie je součástí pokročilých, asistenčních systémů řidiče a jejichž implementace nejen do konvenčních osobních automobilů přináší nové výzvy a příležitosti. Současně s tímto vývojem vzrostla potřeba výzkumu, jež je zaměřen na aplikaci těchto nových technologií a jejich vliv na jízdní výkon řidiče, efektivitu a celkovou bezpečnost silničního provozu [1]. Technologie digitálních bočních zrcátek je jednou z nejméně zkoumaných oblastí, a prochází procesem komplexního vývoje [2]. Obecně audiovizuální technologie, které jsou nově využívány ve vozidlech, poskytují řidiči širokou škálu informací. Na druhé straně však představují stále rostoucí informační zátěž, které je řidič vystaven [1, 3]. S rostoucími kognitivními nároky na řidiče roste i vliv lidského faktoru na nehody způsobené neschopností ovládat vozidlo, špatnou interpretací poskytovaných informací nebo přetížením kognitivních funkcí řidiče [4]. Dnes (2024) tyto situace stále více vedou k úvahám o nahrazení lidského faktoru plně autonomním ovládním vozidla. Tato technologie však má ještě před sebou dlouhou cestu, a proto je nutné hledat jiná řešení [5]. Automobilky stále více volí cestu maximální digitalizace všech informačních rozhraní, což se týká i zpětných zrcátek. Výzkum se zaměřuje na hodnocení použitelnosti digitálních zrcátek ve srovnání s konvenčními zrcátky v několika klíčových oblastech, nimiž jsou rychlosti akomodace, přesnosti čtení a efektivita parkovacích manévřů.

Výzkum využívá různé metodologické postupy, na základě kterých byla získána data prostřednictvím experimentálních průzkumů a dotazníků od heterogenní skupiny účastníků. Analýza takto získaných dat se zaměřila na hodnocení bezpečnosti provozu při používání zkoumané technologie a dále na zhodnocení pohodlí řidičů a jejich preference na základě osobních a antropometrických parametrů.

V první části výzkumu byla provedena laboratorní měření zaměřená na porovnání rychlosti akomodace a přesnosti čtení mezi konvenčními a digitálními zrcátky. Účastníci experimentu prováděli testovací úkoly na dvou identických osobních automobilech, což umožnilo porovnat technické a ergonomické aspekty obou typů zrcátek. Lidské smysly jsou evolučně přizpůsobeny přežití v přírodě a pro lidské přežití v moderní společnosti často narážejí na své limity, které dosud nebyly plně prozkoumány. Zrak je v tomto

kontextu nejdůležitějším smyslem, přičemž jedním z jeho základních parametrů je schopnost akomodace, tedy přestřování z dálky na blízko a zpět [6, 7]. Tato schopnost je klíčová při řízení motorového vozidla a rychlost akomodace přímo ovlivňuje bezpečnost silničního provozu. Opakovaná a dlouhodobá nucená akomodace může vést ke snížení amplitudy akomodace [8]. Potřeba vizuální akomodace je jedním z podstatných rozdílů mezi konvenčními zpětnými zrcátky a digitálními zpětnými zrcátky [9]. Cílem této části výzkumu bylo zjistit, jak a zda se mění reakční doba potřebná ke čtení vybraného textu s konvenčními vs. digitálními zpětnými zrcátky. Hlavním přínosem je zhodnocení rozdílu mezi technologiemi konvenčních a digitálních zrcátek z pohledu oftalmologie i ergonomie. Parametrem pro hodnocení obou technologií je v této části práce rychlost akomodace, což je důležitý fyziologický proces oka. Tento proces má přímý vliv jak na zdraví řidiče, tak na bezpečnost provozu. Statistické analýzy potvrdily významné rozdíly v rychlosti akomodace a přesnosti čtení, což naznačuje, že digitální zrcátka mohou mít přímý negativní vliv na bezpečnost silničního provozu.

Druhá část byla zaměřena na terénní měření, které probíhalo na uzavřeném testovacím polygonu. Toto měření se zaměřilo na porovnání přesnosti a času potřebného k parkování a předjíždění s digitálními a konvenčními zrcátky. Účinnost této nové technologie je třeba pečlivě vyhodnotit, aby byla zajištěna bezpečnost řidičů a zvýšena podpora poskytovaná řidičům. Mezi běžné problémy, které vyvstávají bez přístupu zaměřeného na řidiče, patří přetížení informacemi, nedostatečná asistence pro řidiče, nadměrné spoléhání se na technologii, negativní behaviorální adaptace na technologii a celkové nesprávné používání nové technologie [9, 10, 11, 12]. Data byla shromážděna během parkovacích a předjížděcích manévrů, kde byly měřeny klíčové parametry jako čas parkování, přesnost umístění vozidla, čas předjíždění a počet pohledů do zrcátek během předjíždění. Hlavním cílem této části výzkumu bylo vyhodnotit rychlost a přesnost zadních podélných a kolmých parkovacích manévrů a předjížděcí manévr pomocí dynamické metodiky testování na silnici. Tato část výzkumu se zaměřuje nejen na pohodlí a snadnost použití této technologie, ale také systematicky porovnává rozdíly v rychlosti a přesnosti parkování a předjíždění pomocí konvenčních zrcátek a nové technologie digitálních vnějších zrcátek.

Cílem závěrečné části práce bylo za pomoci dotazníků určit, zda existují závislosti mezi sociodemografickými parametry řidičů (respondentů) a jejich preferencemi v oblasti použitelnosti technologie digitálních zrcátek.

2 PŘEHLED O SOUČASNÉM STAVU POZNÁNÍ

Při řízení motorového vozidla, zejména při zvažování nebo provádění manévru změny jízdního pruhu, je klíčová řidičova schopnost správně odhadnout vzdálenost od ostatních účastníků silničního provozu a tím snížit riziko srážky. Nedostatek pozornosti vůči ostatním účastníkům silničního provozu byl často uváděn jako faktor, který zapříčinil značné množství dopravních nehod [13].

Řidič musí během jízdy nepřetržitě udržovat dostatečné povědomí o prostoru před i za vozidlem. Zatímco prostor před vozidlem je standardně pokrýván funkčním zorným polem řidiče při pohledu vpřed, povědomí o prostoru za vozidlem je do značné míry závislé na pohledu do zpětných zrcátek. Jedná se o vizuální vjem prostřednictvím vnitřních a vnějších zpětných zrcátek, která poskytují pouze nepřímé a omezené zorné pole, jehož rozsah je determinován rozměry a konstrukčními vlastnostmi zrcátek. Přímá kontrola ohlédnutí se přes rameno nebo správná poloha sedadla mohou také napomoci ke zlepšení nedostatečné ostrosti zraku, způsobené zpětnými zrcátky [14].

Provádění dalších kontrol při předjíždění jako je již zmíněné ohlédnutí se přes rameno však vyžaduje, aby řidič fyzicky změnil své držení těla a pozici hlavy. Tím může dojít k odvedení vizuální pozornosti od prostoru před vozidlem, což může mít za následek nepříznivé účinky na ovládání vozidla, např. boční nestabilitu. Kromě toho může vnitřní vybavení vozidla (např. mohutné opěrky hlavy sedadel) ztěžovat výhled přes rameno a starší řidiči mohou mít omezenou schopnost provádět tyto kontroly, s ohledem na jejich sníženou pohyblivost [15, 16].

Jedním z vyžadující omezení při používání zrcátek k zobrazení prostoru za vozidlem je fyzické umístění zrcátek v přímé linii pohledu pro odrazení požadovaného obrazu. To určuje, že boční zrcátka jsou umístěna vně vozidla. To však může, v některých situacích, způsobit částečné zakrytí obrazu vlastní zadní částí vozu, nepříznivými povětrnostními podmínkami (např. kapky deště, námraza na oknech, či jiné nečistoty) nebo oslnění slunečními paprsky [15, 17].

Vzhledem k těmto omezením se zdá být rozumné zvážit využití alternativní metody k zachycení a zobrazení prostoru za vozem, která by mohla překonat některá omezení používání konvenčních zpětných zrcátek. Jednou z možností je např. zachycení obrazu prostoru za vozidlem pomocí kamer umístěných vně vozu, jejichž obraz bude následně zobrazován na displeji v interiéru. Tento systém slouží jako tzv. digitální zrcátka, podobně jako u stávajících parkovacích asistenčních systémů založených

na kamerách, které varují řidiče před nepředvídanými předměty či chodci ve směru couvajících vozidla. Při použití této technologie již neexistuje požadavek na přímý, optický odraz konkrétního obrazu, takže zrcátka nemusí být fyzicky namontována vně vozu, v poloze, která je dnes obvyklá. Absence mohutných externě vyčnívajících zrcátek také přirozeně zlepšuje aerodynamiku vozidla, čímž poskytne další výhody, jako jsou snížení hlučnosti obtékajícího vzduchu nebo, v případě elektrických a hybridních vozidel, prodlouží dojezd [17, 132].

Technologii digitálních zrcátek lze také využít k poskytnutí dalších důležitých informací pro řidiče, např. by bylo možno rozšířit obraz digitálním zvýrazněním nebezpečí. Současně je třeba bezpodmínečně dbát na to, aby řidiči nebyli rozptýleni žádnými dalšími poskytnutými informacemi. Dále by např. digitální zpracování obrazu mohlo být použito k prezentaci širšího zorného pole, čímž by bylo eliminován tzv. slepý úhel bez zkreslení obrazu [18], či pro zlepšení viditelnosti, zvýšení jasů v noci, pro odstranění oslnění ve dne [19].

Následující podkapitoly se zaměřují na historický vývoj ergonomie, s důrazem na její význam pro optimalizaci vztahu člověka a technologií. Dále se zabývají podrobným popisem lidského zraku, včetně anatomie oka, optických vlastností a mechanismu akomodace. Vědecké poznatky v těchto oblastech poskytují základy pro pochopení, jak lidské oko zpracovává vizuální informace. Kromě toho jsou zde rozebrány principy eyetrackingu, tedy metody sledování pohybu očí, která je klíčová pro analýzu vizuální pozornosti. Podkapitoly také detailně popisují vlastnosti a fungování zařízení pro nepřímý výhled, jako jsou digitální zrcátka. Tato teoretická část představuje nezbytný základ pro pochopení následně provedeného výzkumu, jelikož poskytuje kontext a vědecké vysvětlení mechanismů, které jsou klíčové pro studium ergonomie a vizuální percepce v rámci výzkumu.

2.1 Ergonomie

Ergonomie je termín, který vznikl spojením dvou řeckých slov: „ergo“, jež znamená práci, a „nomos“, které se překládá jako zákon nebo pravidlo. Tento termín tak označuje soubor zásad zaměřených na pracovní činnosti. I když se ergonomie jako vědecká disciplína považuje za relativně novou, její základní principy a metody byly využívány již po staletí. Pojem ergonomie poprvé použil polský vědec Wojciech Jastrzebowski ve své publikaci *Rys ergonomii czyli nauki o pracy* v roce 1857. Ergonomie

je multidisciplinární obor zaměřený na vylepšení pracovního prostředí a pracovních nástrojů tak, aby odpovídaly fyzickým a psychickým schopnostem člověka. Jejím hlavním cílem je zvýšení bezpečnosti, zajištění pohodlí a snížení energetických nároků při práci. Důležitým výsledkem je také zajištění zdraví pracovníků a zvýšení jejich pracovní efektivity [20, 21].

Ergonomie propojuje znalosti z různých vědních oblastí. Na jedné straně čerpá z humanitních disciplín, jako jsou antropometrie, biomechanika, psychologie, sociologie a další, a na druhé straně se opírá o technické obory, včetně mechaniky, statiky a kybernetiky apod. Optimalizace vztahu těchto vědních disciplín umožňuje efektivně přizpůsobit pracovní prostředí a nástroje lidským potřebám a schopnostem [22].

Jednoznačná definice ergonomie neexistuje, jelikož se nabízí mnoho různých výkladů. Například Mezinárodní ergonomická asociace v roce 2000 definovala ergonomii takto:

„Ergonomie je vědecká disciplína založena na porozumění interakci člověka a dalších složek systému. Aplikací vhodných metod, teorie i dat zlepšuje lidské zdraví, pohodu i výkonnost. Přispívá k řešení designu a hodnocení práce, úkolů, produktů, prostředí a systémů, aby byly kompatibilní s potřebami, schopnostmi a výkonnostním omezením lidí. Ergonomie je systémově orientovaná disciplína, která prakticky pokrývá všechny aspekty lidské činnosti. V rámci holistického přístupu zahrnuje faktory fyzické, kognitivní, sociální, organizační, prostředí a další relevantní faktory.“ [23]

Jiná definice podle profesora Lubora Chundely zní:

„Ergonomie je interdisciplinární systémový vědní obor, který komplexně řeší činnost člověka i jeho vazby s technikou a prostředím, s cílem optimalizovat jeho psychofyzickou zátěž a zajistit rozvoj jeho osobnosti.“ [24]

Pro lepší pochopení této definice je dobré vysvětlit tyto pojmy [24]:

- **Interdisciplinární (mezioborový)** – termín označuje přístup, který spojuje poznatky, metody a přístupy z různých vědních disciplín s cílem vytvořit komplexní porozumění a řešení problémů. Interdisciplinarita zahrnuje integraci odborných znalostí z různých oblastí, čímž umožňuje efektivní řešení složitých problémů, které nelze plně vyřešit pouze v rámci jedné disciplíny.

- **Komplexnost** – se vztahuje k celkovému uspořádání a vzájemné provázanosti všech částí a subsystémů v daném systému. Komplexnost se týká schopnosti navrhnout a optimalizovat systém, který zahrnuje všechny složky a jejich vzájemné interakce, přičemž se zohledňuje jejich vliv na celkové fungování systému.
- **Optimalizace psychické a fyzické zátěže** – lze chápat jako snahu o minimalizaci negativních vlivů pracovního procesu na psychický a fyzický stav jedince. Cílem je navrhnout pracovní podmínky a technologické prostředky tak, aby co nejméně zatěžovaly pracovníka, čímž se zajišťuje vyšší efektivita a pohoda během vykonávání pracovní činnosti. Tento proces zahrnuje zlepšení pracovního prostředí a ergonomie s cílem dosáhnout rovnováhy mezi pracovní zátěží a schopnostmi pracovníka.

2.1.1 Oblasti ergonomie

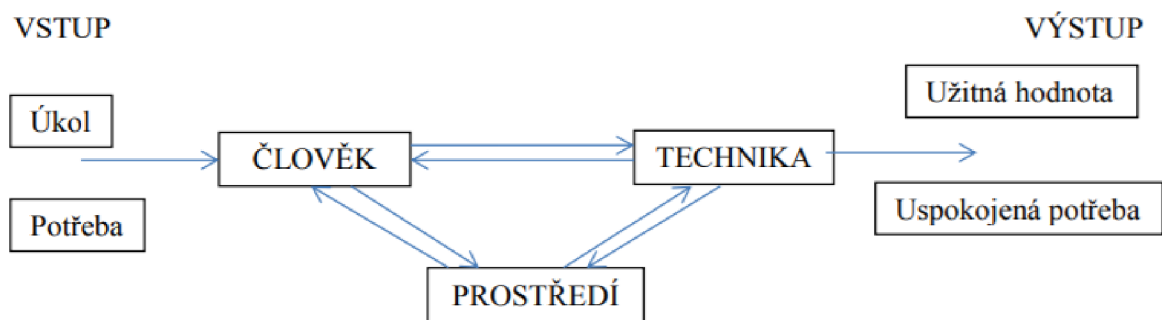
1. **Fyzická ergonomie** – obor soustředící se na studium vztahů mezi lidským tělem a pracovními podmínkami, přičemž zohledňuje aspekty anatomie, antropometrie, fyziologie a biomechaniky. Hlavními oblastmi zájmu jsou faktory ovlivňující manipulaci s objekty, návrh optimálních pracovních pozic, uspořádání pracovního prostoru a prevence zdravotních rizik spojených s pracovními činnostmi [25].
2. **Kognitivní ergonomie** – tento směr se zaměřuje na studium mentálních procesů, jako jsou vnímání, pozornost, paměť, rozhodování a úsudek. Cílem je optimalizovat lidské kognitivní schopnosti v pracovním prostředí, aby byla zajištěna maximální efektivita, spolehlivost a minimalizace psychické zátěže, což má vliv na výkon jednotlivce a jeho schopnost přijímat rozhodnutí v různých pracovních situacích [25].
3. **Ergonomie organizace** – obor věnující se analýze a optimalizaci organizačních struktur a pracovních procesů s cílem zlepšit efektivitu a spokojenost pracovníků. Zaměřuje se na zlepšení vnitřní komunikace, strategické plánování pracovních úkolů, řízení pracovních činností a celkovou optimalizaci organizačních toků, což vede k vyšší produktivitě a efektivnímu využívání lidských a materiálních zdrojů [25].

2.2 Ergonomie jako systémový obor

Ergonomie je systémový obor zabývající se vztahem tří hlavních prvků:

Člověk – Technika – Prostředí (viz Obr. 1), přičemž klíčovým prvkem je člověk. Tento systém je předmětem zájmu nejen ergonomie, ale také dalších vědních oborů, jako jsou ekologie, bezpečnost, hygiena, estetika a mnohé další. Aby byl systém efektivní, je nezbytné zachovat jeho komplexnost a zároveň najít rozumná řešení pro překrývající se oblasti. Výběr materiálu je rovněž důležitý a řeší se jak z hlediska hygieny, tak bezpečnosti [24].

Obecně lze tento systém definovat jako „soubor několika prvků, složek, které jsou funkčně vzájemně propojeny a mezi nimiž existují vazby, které umožňují, aby z daných vstupů byly dosaženy zamýšlené výstupy – výsledky, v rámci daných omezujících podmínek“ [24].



Obr. 1: Schéma ergonomie jako systémového oboru [24]

Řízení motorového vozidla lze považovat za komplexní interakční systém, ve kterém řidič působí jako centrální prvek integrující různé smyslové vstupy a motorické výstupy. Během jízdy řidič zpracovává sensorické informace z vnějšího prostředí, včetně akustických a vizuálních podnětů, a interpretuje data z interních displejů vozidla, jako jsou otáčkoměr, tachometr a palivoměr nebo také zpětná zrcátka. Na základě této analýzy rozhoduje o následných krocích, které následně provádí prostřednictvím řídicích mechanismů, včetně pedálů, volantu a ovládacích páček. Kognitivní a fyzický výkon řidiče je ovlivněn širokou řadou dalších proměnných, včetně ergonomie a nastavení sedadla, které určují polohu a držení těla, stejně jako environmentálními podmínkami uvnitř kabiny, zahrnujícími osvětlení, hlukové pozadí, mikroklimatické faktory (teplota, vlhkost) a distribuci proudění vzduchu.

2.3 Zrak

Zrak představuje primární smyslový systém pro vnímání okolního prostředí. Lidský zrakový aparát, složený z očního bulbu a periferních sensorických receptorů, poskytuje komplexní analýzu vizuálních podnětů díky přímému propojení s vizuálními oblastmi mozkové kůry. Tento systém umožňuje přesné rozlišování a interpretaci vizuálních informací, které tvoří přibližně 80 % všech podnětů z vnějšího prostředí, jež lidský mozek zpracovává [26].

Lidské oko je tvořeno dvěma hlavními optickými komponentami: rohovkou a čočkou, které společně fungují jako soustava objektivů. Množství světla vstupujícího do oka je precizně regulováno duhovkou, anatomicky umístěnou mezi rohovkou a čočkou. Centrální otvor v duhovce, zvaný zornice, dynamicky reaguje na světelné podmínky tím, že se zužuje nebo rozšiřuje, čímž upravuje množství dopadajícího světelného záření. Světelné paprsky následně procházejí průhledným sklivcem a promítají se jako invertovaný obraz na světločivou sítnici, která zajišťuje prvotní zpracování vizuálního signálu [26].

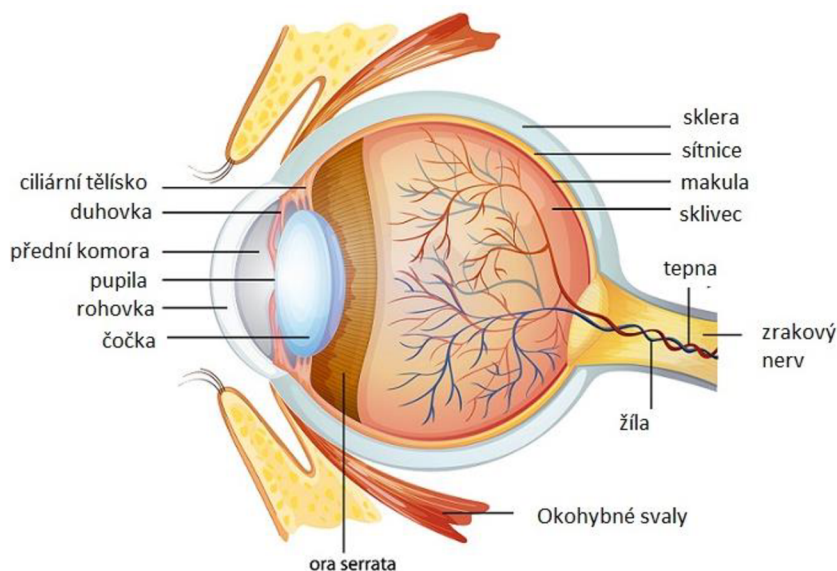
Řidič získává většinu informací o situaci kolem vozidla a o dopravních podmínkách primárně vizuálně. Bezpečnost samotné jízdy významně ovlivňuje zraková ostrost a interpretace aktuálně vnímaného obrazu zrakovým centrem mozku. Rychlost vnímání může být ovlivněna řadou faktorů, jako je celkový zdravotní stav, úroveň pozornosti, paměť, zkušenosti, únava nebo vliv alkoholu a jiných návykových látek. Při delších jízdách může docházet ke zhoršení vnímání, proto je důležité dbát na správnou polohu při sezení a během jízdy si pravidelně dělat krátké přestávky. Tyto přestávky mohou zahrnovat činnosti, které pomáhají snížit únavu za volantem, jako je fyzická aktivita na čerstvém vzduchu nebo občerstvení pro obnovení energie. Všechny tyto aktivity by měly přispět ke zlepšení vnímání.

Důležitou roli v zpracování podnětů hraje také schopnost oka přijímat informace z dvou odlišných oblastí. První oblast, centrální vidění, je zodpovědná za ostré a barevné vidění, avšak její zorné pole je velmi úzké, obvykle jen několik stupňů. Druhá oblast, periferní vidění, má mnohem širší zorný úhel. V této oblasti oko dobře detekuje pohyb, i když vnímání detailů a barev je slabší. Přesto je pro řidiče periferní vidění zásadní, protože mu umožňuje sledovat širší okolí. Řidič by se neměl omezovat pouze na úzké zorné pole, ale měl by aktivně prozkoumávat okolí, zejména v blízkosti vozovky [26].

2.3.1 Anatomie lidského oka

Optický systém lidského oka se skládá z rohovky, komorové tekutiny, čočky, sklivce a sítnice, které společně tvoří složitý mechanismus, umožňující zrakové vnímání. Úkolem tohoto systému je fokusovat světelné paprsky tak, aby se jejich ohnisko přesně promítlo na sítnici, která následně prostřednictvím zrakového nervu přenáší vizuální informace do zrakového centra mozku. Široká škála patologie jednotlivých částí optické dráhy může vést k poruchám vidění, zahrnujícím sníženou ostrost, deformované obrazy nebo úplnou ztrátu zrakových schopností. Nesprávný poměr refrakce a axiální délky optického systému oka způsobuje, že se světelné paprsky nefokusují na sítnici přesně, což vede k refrakčním vadám, jako je astigmatismus, hypermetropie (dalekozrakost), myopie (krátkozrakost) a další. Tyto vady mohou ovlivnit kvalitu zrakového vnímání a vyžadují korekci pro dosažení optimálního vidění [27].

Obrázek 2 nabízí detailní schéma anatomické struktury lidského oka, ilustrující jednotlivé refrakční prvky, a zároveň poskytuje přehled o jejich funkcích v procesu vizuální percepce. Tento diagram slouží jako vizuální nástroj pro pochopení, jak se světelné paprsky transformují prostřednictvím komplexního optického systému oka, a jak jsou tyto informace následně zpracovány na úrovni centrální nervové soustavy pro vytvoření vizuálního obrazu.



Obr. 2: Anatomie oka [36]

Dále je uveden detailní popis struktury lidského oka na základě analýzy dostupné literatury [28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35].

Oční koule, odborně nazývaná *bulbus oculi*, má téměř sférický tvar s rozdíly v zakřivení mezi přední a zadní částí. Přední část je tvořena průhlednou rohovkou (*cornea*), která se vyznačuje výrazným zakřivením s poloměrem mezi 7 až 8 mm, což umožňuje správnou refrakci světelných paprsků vstupujících do oka. Zadní část oční koule, pokrytá neprůhlednou bělimou (*sclera*), má mírnější zakřivení s poloměrem 11 až 12 mm. Zrakový nerv (*nervus opticus*) vystupuje z oblasti zadní části oční koule, avšak jeho výstupní bod je lehce posunut nasálně

Rohovka, odborně nazývaná *cornea*, představuje přední, transparentní a elastickou část oka, která vykazuje nejvýraznější zakřivení. Rohovka je bezbarvá a bez cévního zásobení. Její zakřivení není rovnoměrné; horizontální průměr rohovky činí přibližně 12 mm, zatímco vertikální průměr dosahuje hodnoty 11 mm, což znamená, že vertikální zakřivení je vyšší než horizontální.

Cévnatka, známá jako choroidea, se skládá z pigmentové vrstvy, která vyživuje hluboké vrstvy sítnice. Je nejrozsáhlejší složkou střední vrstvy bulbu a uvnitř oka brání rozptylu světelných paprsků. Tato vrstva je relativně tenká (0,4 mm vzadu a 0,2 mm vpředu), bohatá na cévy a pružná, obsahující velké množství melanoforů, umístěná mezi bělimou a optickou částí sítnice. Vpředu cévnatka přechází v tzv. řasnaté těleso.

Řasnaté těleso, tedy *corpus ciliare*, tvoří spolu s duhovkou přední část cévnaté střední vrstvy oka. Skládá se z hladkého svalu, hustého vaziva a pigmentových buněk. Zepředu a zezadu má tvar mezikruží, zatímco v příčném řezu vypadá trojúhelníkovitě, přičemž nejvyšší část se nachází na předním okraji. Přední plocha *corpus ciliare* má 70 až 80 řas, známých jako ciliární výběžky, které dosahují délky 2 až 3 mm a mají hrbolatý povrch. Z jejich boků a rýh mezi nimi vyrůstají závěsná vlákna čočky. Ciliární výběžky jsou tvořeny převážně z krevních kapilár, které pokrývá tenký epitel a pigmentové buňky. Primární úlohou řasnatého tělesa je produkce nitrooční komorové tekutiny a participace na funkci ciliárního svalu pro zajištění změny optické mohutnosti oční čočky.

Ciliární sval neboli *musculus ciliaris*, je soubor prostorově uspořádaných vláken. Při jeho smrštění dochází k uvolnění napětí zonulárních vláken, což umožňuje čočce, aby se bez tahu od periferie uvolnila, a v důsledku své pružnosti se vyklene. Naopak, když se sval uvolní, čočka se zploští. Tento mechanismus změny optické mohutnosti oka a tedy změnu ohniskové vzdálenosti označujeme za oční akomodaci. Tímto způsobem je umožněno zaostření oka na blízké objekty.

Duhovka, známá jako iris, vychází z předního a dolního okraje řasnatého tělesa. Je to pokračování řasnatého tělesa a cévnatky, proto je bohatě prokrvená a obsahuje pigmentové buňky. Barva duhovky se odvíjí od typu a množství pigmentu, síly pigmentové vrstvy a hloubky, v níž se pigmentové buňky nacházejí. Duhovka má tvar mezikruží se středovým otvorem, zvaným zornice (pupilla), která je mírně posunuta mediálně, což způsobuje, že vnitřní strana duhovky je o něco užší než zevní. Duhovka se umísťuje frontálně a dělí přední část oka na přední a zadní komoru. Jejím úkolem je fungovat jako clona fotoaparátu: při nedostatku světla zornici rozevírá a při akomodaci na dálku ji uzavírá, zatímco při dostatečném osvětlení se zornice zužuje a při ostření na blízko se opět rozšiřuje.

Sítnice neboli retina, je vnitřní vrstva oční koule citlivá na světlo. Obsahuje dva hlavní typy světločivých elementů: tyčinky a čípky. Tyčinky, jejichž počet dosahuje přibližně 120 milionů, jsou citlivé na intenzitu světla a dokáží reagovat i na dopad jednoho až dvou fotonů. Čípky, jejichž počet je mezi 6 a 7 miliony, slouží jako receptory barevného vidění. Tyto buňky jsou kratší, silnější a konické, ačkoliv jsou méně citlivé na světlo než tyčinky, umožňují vnímání barev. Obsahují tři typy odlišného pigmentu: červený, modrý a zelený, což umožňuje oku vytvářet barevný obraz kombinací těchto základních pigmentů.

Čočka, známá jako lens (viz Obr. 4), se nachází za zornicí v zadní komoře oka a u dospělého člověka má průměr 9 až 10 mm. Její tloušťka dosahuje 3,7 mm, a při akomodaci na blízko se zvětšuje na 4,4 mm. Akomodace, tedy schopnost měnit optickou mohutnost, je jednou z hlavních funkcí čočky. V průběhu života se tvar i optické vlastnosti čočky mění, neboť čočka roste a zvyšuje se i její hmotnost. Její celková optická mohutnost se pohybuje mezi 17 a 25 dioptriemi v závislosti na vyklenutí, protože jednou z jejích základních vlastností je schopnost měnit tvar a tím i optickou mohutnost. Čočka je transparentní a bikonvexní (dvouvypuklá), avšak nemá žádné cévní zásobení. Biochemické procesy v čočce zajišťují její elasticitu a transparentnost, což umožňuje refrakci. S postupem věku ale ztrácí elasticitu i schopnost akomodace, což vede k zahuštění jejího obsahu a následně ke vzniku katarakty (šedého zákalu).

Sklivec, tedy corpus vitreum, je zcela průhledná, čirá a světlolomná vodnatá hmota, která je tvořena z 98,5 % vodou. Vyplňuje prostor uvnitř oční koule a volně se pojí se sítnicí. V této hmotě se nacházejí jemné submikroskopické fibrily o tloušťce

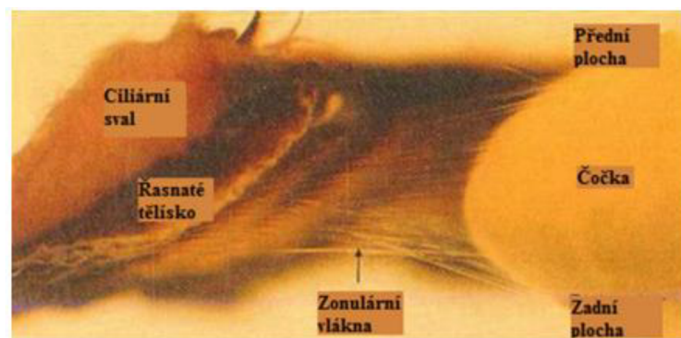
0,03 μm , které jsou velmi dlouhé. Sklivec je pevněji spojen s čočkou, řasnatým tělesem a sítnicí v místě výstupu zrakového nervu.

Optický nerv, tedy nervus opticus, je součástí mozku a jedná se o párový senzorický nerv, který přenáší impulzy ze sítnice do mozku.

Oční komory, známé jako camerae bulbi, představují nitrooční prostory umístěné mezi rohovkou, duhovkou a čočkou. V těchto komorách cirkuluje komorová voda, jež je tvořena z krevní plazmy.

2.4 Akomodace

Akomodace je fyziologický proces, během něhož dochází k adaptaci optické mohutnosti oka, která je nezbytná pro zaostření na objekty umístěné v různých vzdálenostech. Tento proces je dynamický a zahrnuje změny v refrakční mohutnosti oka, které jsou dosaženy díky změně zakřivení čočky. Klíčovými strukturami, které se podílejí na akomodačním mechanismu (viz Obr. 3), jsou čočka, její závěsný aparát, řasnaté těleso, ciliární svaly a elastická vlákna, které umožňují vyklenutí čočky při akomodačním procesu. Aktivace těchto struktur umožňuje flexibilní a přesné zaostření oka na objekty různých vzdáleností, čímž je zajištěna optimální vizuální ostrost pro dané podmínky [29].



Obr. 3: Anatomie struktur oka podílejících se na akomodaci [37]

V kontextu využití digitálních zrcátek v automobilovém prostředí představuje akomodace významný aspekt vizuální ergonomie, neboť vyžaduje od řidiče schopnost rychlého přeostržení zraku z pozorování vozovky na blízký digitální displej umístěný v kabině vozidla. Tento proces má přímý vliv na dobu reakce řidiče, což následně ovlivňuje celkovou bezpečnost provozu. Na rozdíl od digitálních zrcátek, konvenční zrcátka typicky nevyžadují tak intenzivní akomodační nároky, protože obraz je teoreticky umístěn v nekonečnu, což snižuje požadavek na změnu optické mohutnosti čočky.

Akomodace oka může být kvantifikována různými metodami, mezi které patří:

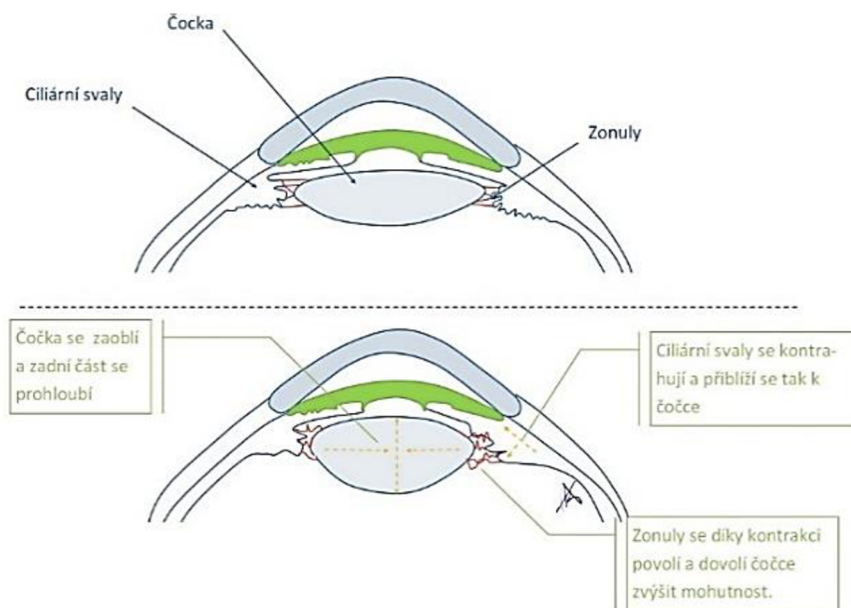
- **Akomodační amplituda:** Ukazatel rozdílu mezi maximální a minimální optickou mohutností čočky, který hodnotí schopnost oka zaostřit na různé vzdálenosti.
- **Akomodační reakční čas:** Měření doby potřebné k přestřelení zraku z jedné ohniskové vzdálenosti na druhou.

Akomodace tedy představuje zásadní parametr při hodnocení vizuální ergonomie a komfortu, především v kontextech, které vyžadují rychlé a efektivní přestřelení zraku mezi různými vzdálenostmi, což je klíčové pro zajištění bezpečného provozu vozidel s digitálními zobrazovacími systémy.

2.4.1 Mechanismus akomodace

Z pohledu anatomie je správné fungování ciliárního svalu, pružnost čočky a neporušenost závěsného aparátu klíčové pro optimální akomodaci (viz Obr. 4). Při pohledu na blízké objekty se ciliární sval stahuje, čímž se uvolňuje závěs čočky. Díky své pružnosti a ve spolupráci se sklivcem se čočka vyklenuje, což zvyšuje její optickou mohutnost. Naopak při pohledu na vzdálené objekty dochází k relaxaci ciliárního svalu, čočka se zplošťuje a tím se snižuje její optická mohutnost, což se nazývá desakomodace.

Akomodaci lze rozdělit na dvě hlavní složky: aktivní složku, která souvisí s činností ciliárního svalu, a pasivní složku, do které patří funkce čočky, sklivce a závěsného aparátu. Akomodační mechanismus má latenci přibližně 0,37 s a uskutečňuje se během 0,5 - 1,5 s. Desakomodace během 0,8 - 1,8 s [32, 35, 40, 41, 42].



Obr. 4: Schéma akomodace oka – změny ciliárních svalů [43]

2.4.2 Akomodace oka – daleký a blízký bod

Akomodace je schopnost oka zaostřit na objekty v různých vzdálenostech díky změnám zakřivení oční čočky. Klíčovými body, které popisují rozsah akomodační schopnosti, jsou daleký bod akomodace a blízký bod akomodace.

Daleký bod představuje nejbližší bod, který je oko schopno vidět ostře bez potřeby akomodace, tedy při relaxaci akomodačního aparátu (viz Obr. 5). U zdravého emetropického oka se tento bod nachází v nekonečnu; v klinické praxi se však nekonečno obvykle aproximuje vzdáleností 5 a více metrů. U myopického oka je daleký bod blíže, což znamená, že oko není schopno ostře zaostřit na vzdálené předměty bez korekce. Naopak hypermetropické oko musí používat akomodaci i na vzdálené předměty, na které by emetropické oko akomodovat nemuselo. To může vést k přetěžování akomodačních svalů a následným astenopickým potížím, jako jsou bolesti hlavy a očí [43].

Blízký bod akomodace označuje nejbližší vzdálenost, na kterou je lidské oko schopno zaostřit při maximální akomodaci, tedy při plném vyklenutí čočky. Tato vzdálenost je individuální a závisí na věku, zdravotním stavu oka a dalších faktorech. Při zaostření na blízký bod dochází k maximálnímu napětí ciliárního svalu, který mění zakřivení čočky a zvyšuje její refrakční schopnost (viz Obr. 5). Blízký bod je důležitým ukazatelem adaptability oka při různých vzdálenostech. U zdravého oka by měl být tento rozsah vidění funkční a bez obtíží, pokud nejsou přítomny refrakční vady, jako například hypermetropie [43].

2.5 Refrakční vady

Mezi nejběžnější oční vady patří:

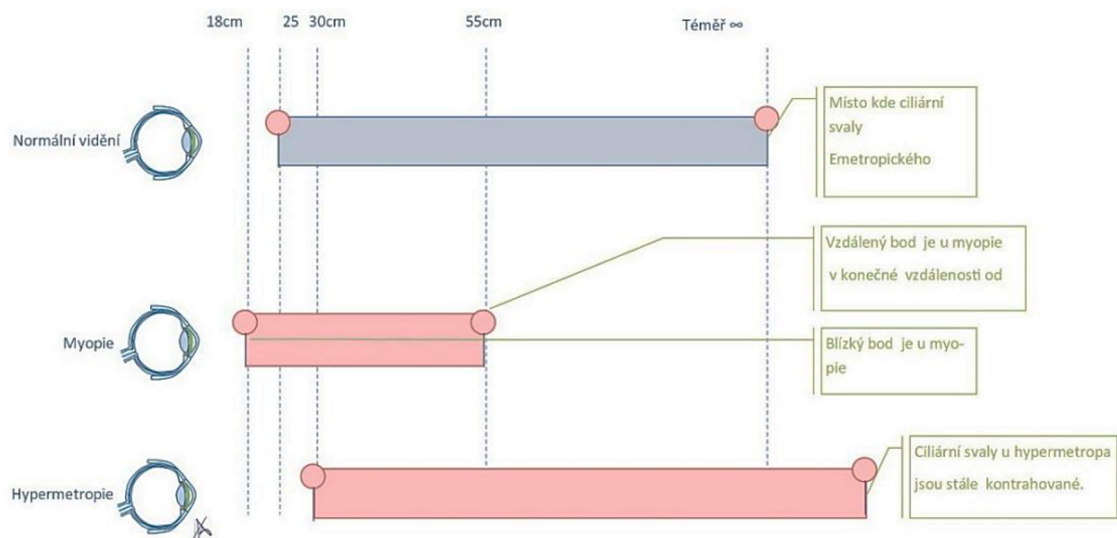
Krátkozrakost (myopie): Jedná se o refrakční vadu, kdy světelné paprsky se sbíhají před sítnicí, což způsobuje nejasné vidění vzdálených objektů. Krátkozrakost je často způsobena příliš dlouhou oční bulvou nebo příliš zakřivenou rohovkou (viz Obr. 5).

Dalekozrakost (hypermetropie): Hypermetropie je oční vada, při které do jisté míry člověk vidí vzdálené objekty ostře, ale při nízké akomodační amplitudě vidí blízké objekty rozmazaně. Je způsobena tím, že světelné paprsky se sbíhají za sítnicí místo přímo na ní. Nejčastější příčinou je příliš krátká oční bulva nebo nedostatečně zakřivená

rohovka. Tato vada může být korigována brýlemi nebo kontaktními čočkami s konvexními (plusovými) čočkami, které pomáhají zaostřit světlo na sítnici (viz Obr. 5).

Astigmatismus: Astigmatismus je oční vada způsobená nepravidelným tvarem rohovky nebo čočky, což vede k nerovnoměrnému lomu světla. Výsledkem je rozmazané nebo zkreslené vidění na různých vzdálenostech. Astigmatismus se často vyskytuje ve spojení s krátkozrakostí nebo dalekozrakostí. K jeho korekci se používají speciální cylindrické čočky, které kompenzují nepravidelné zakřivení.

Vetchozrakost (presbyopie): Vetchozrakost je věkem podmíněná oční vada, která obvykle začíná kolem 40. roku života. Dochází k ní, když oční čočka ztrácí svou pružnost a schopnost zaostřovat na blízké předměty. Často se koriguje brýlemi na čtení, bifokálními nebo multifokálními čočkami, které pomáhají lépe zaostřit na různé vzdálenosti [40].



Obr. 5: Blízký a vzdálený bod u zdravého oka a při základních refrakčních vadách [43]

Astenopie není považována za oční vadu v tradičním smyslu, ale spíše za syndrom oční únavy nebo soubor příznaků souvisejících s nadměrným zrakovým zatížením. Zahrnuje nepříjemné projevy, jako jsou pálení očí, rozmazané vidění, bolesti hlavy, únava a další symptomy, které mohou být způsobeny například nadměrným zaostřováním. Vynucená akomodace, kdy je oko nuceno opakovaně zaostřovat na objekty v různých vzdálenostech, může tyto potíže dále zhoršovat. Při častém střídání pohledu mezi blízkými a vzdálenými objekty, například při používání digitálních zobrazovacích systémů v automobilovém průmyslu, může docházet ke zvýšení očního stresu, což se projeví nárůstem astenopických obtíží [38, 44].

2.6 Optika v rámci zkoumané technologie

2.6.1 Optika konvenčních zrcátek

Tradiční optika konvenčních zrcátek zahrnuje [45]:

- **Rovinná zrcátka:** Mají plochý reflexní povrch, který poskytuje obraz ve skutečné velikosti a na správném místě. Tento typ je běžný u vnitřních zpětných zrcátek. Obraz v těchto zrcátkách není zkreslený, což usnadňuje odhad vzdálenosti.
- **Konvexní zrcátka:** Mají zakřivený povrch (vypouklý), což rozšiřuje zorné pole řidiče, ale zároveň zmenšuje obraz. Konvexní zrcátka se používají především jako boční zpětná zrcátka, aby řidič lépe viděl širší oblast za vozidlem, a jsou standardní pro eliminaci mrtvých úhlů.
- **Asférická zrcátka:** Kombinace rovinného a konvexního zrcátka, vnější část mírně zakřivená (asférická). Tento typ optiky snižuje zkreslení na okrajích a zajišťuje plynulý přechod mezi skutečným a rozšířeným zorným polem, čímž minimalizuje mrtvé úhly.

2.6.2 Optika digitálních zrcátek

Digitální zrcátka, která nahrazují tradiční reflexní zrcátka kamerovými a displejovými systémy, zahrnují optiku kamerových systémů a optiku displejů [46,47].

Optika kamerových systémů

- **Širokoúhlé objektivy:** Používají se pro zachycení širšího zorného pole. Tento typ optiky je běžný u digitálních zrcátek, kde je kladen důraz na eliminaci mrtvých úhlů a rozšíření viditelnosti za vozidlem.
- **Rybinové (fisheye) objektivy:** Poskytují extrémně široké zorné pole, často s výrazným zkreslením, které je nutné korigovat softwarově. Tento typ optiky umožňuje vidět oblasti, které by byly jinak mimo zorné pole konvenčních zrcátek (viz Obr. 6).



Obr. 6: Objektiv rybi oko 166 ° (fish eye) [47]

- **Noční vidění a infračervené kamery:** Některá digitální zrcátka jsou vybavena speciálními kamerami pro zlepšení viditelnosti za nízkých světelných podmínek (viz Obr. 7). Tyto kamery snímají ve viditelné i infračervené části spektra.



Obr. 7: Lexus ES s digitálními zrcátky v noci [77]

Optika displejů

- **LCD nebo OLED displeje:** Používají se pro zobrazování obrazu z kamerových systémů. Tyto displeje musí být optimalizovány z hlediska jasu, kontrastu a rychlosti odezvy, aby byl obraz jasně čitelný i za různých světelných podmínek.
- **Antireflexní úpravy a filtry:** Displeje často zahrnují vrstvy s antireflexní úpravou, které minimalizují oslnění a zlepšují čitelnost za jasného slunečního světla. Některé systémy také používají polarizační filtry pro zvýšení kontrastu.

2.6.3 Kombinace optických a digitálních systémů

V moderních vozidlech se někdy setkáváme s hybridními systémy, které kombinují prvky konvenčních a digitálních zrcátek. Tyto systémy mohou zahrnovat [48]:

- **Displeje integrované do konvenčních zrcátek:** Tradiční zrcátko může být vybaveno displejem, který poskytuje dodatečné informace, jako je výstup z kamery při couvání nebo upozornění na objekty v mrtvém úhlu.
- **Kombinace kamer a konvenčních zrcátek:** Některá vozidla mohou mít konvenční zrcátka doplněná o kamery pro záznam okolí nebo monitorování mrtvých úhlů, kde kamera slouží jako doplněk k zrcadlovému systému.

2.6.4 Senzorická a adaptivní optika

Pokročilé systémy digitálních zrcátek mohou zahrnovat senzory, které automaticky přizpůsobují obrazové parametry [49].

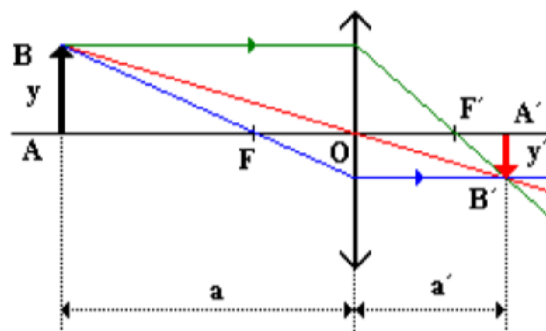
1. **Adaptivní jas a kontrast:** Kamery a displeje mohou automaticky upravovat jas a kontrast podle okolních světelných podmínek, což zajišťuje optimální čitelnost.
2. **Automatické vyrovnání zkreslení:** Softwarové algoritmy zpracovávají obraz tak, aby kompenzovaly zkreslení z kamer s širokým úhlem pohledu, a poskytují řidiči obraz, který by měl být ergonomicky optimální a intuitivní pro interpretaci.

2.6.5 Optická mohutnost

Optické zobrazení představuje proces vytváření obrazů předmětů na základě principů optiky. Pomocí optické soustavy získáváme obrazy tak, že každému předmětu přiřadíme obraz prostřednictvím zobrazovací soustavy, která funguje podle zákona lomu. Tato zobrazovací optická soustava se skládá z různých rozhraní, na nichž dochází k lomu a změně směru paprsků, které vycházejí z předmětu. Předmět je objektem, jehož body vyzařují svazky jednotlivých paprsků, jež vstupují do zobrazovací soustavy. Obraz pak vzniká v množině bodů, kde se tyto paprsky protínají. Předmětový a obrazový prostor představují oblasti, kde se nachází buď samotný předmět, nebo jeho obraz (viz Obr. 8) [50, 51].

K určení odrazu se využívají tři paprsky:

- 1) rovnoběžný, který se od zrcadla zlomí do ohniska,
- 2) do ohniska, který se na zrcadle zlomí rovnoběžně,
- 3) do středu čočky



Obr. 8: Optická soustava [51]

Zobrazovací rovnice čočky:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

kde a...předmětová vzdálenost [m]

a'...obrazová vzdálenost [m]

f...ohnisková vzdálenost (polovina poloměru čočky) [m]

Optická mohutnost:

$$\varphi = \frac{1}{f} \quad (2)$$

kde φ ...optická mohutnosti [m^{-1}]

f...ohnisková vzdálenost (polovina poloměru čočky) [m]

Z důvodu rozdílných optických vlastností lidského oka a kamery bylo nutné upravit zvětšení kamery tak, aby velikost obrazu vytvořeného kamerou odpovídala velikosti obrazu generovaného konvenčními zrcátky. Tento postup zahrnoval přesnou kalibraci kamery s cílem kompenzovat rozdíly mezi optickými charakteristikami lidského oka a umělého optického systému kamery. Úpravou bylo dosaženo toho, že rozměry a perspektiva obrazu z kamery se co nejvíce shodují s vjemem pozorovaným v tradičním zrcadle, což minimalizuje vliv optických odlišností na lidské vnímání a usnadňuje adaptaci uživatele na nový systém.

2.6.6 Sledování úhlu pohledu – Eyetracking

Termín *eyetracking* označuje metodu sledování zrakové fixace a měření pohybů očí v souvislosti s pohyby hlavy. Přístroje určené k zaznamenávání polohy a pohybu očí jsou nazývány *eyetrackery*. Tyto přístroje nacházejí široké uplatnění v oblasti výzkumu lidského vizuálního systému, marketingových studií, psychologických analýz, návrhu produktů či jako uživatelské rozhraní při práci s počítačem. Existuje několik technik pro měření pohybu očí, přičemž nejrozšířenější metodou je analýza videozáznamu, která umožňuje detailní sledování směru pohledu na základě zaznamenaného obrazu. Mezi další využívané metody patří například aplikace hledacích cívek nebo techniky využívající princip elektrookulografie (EOG) [52].

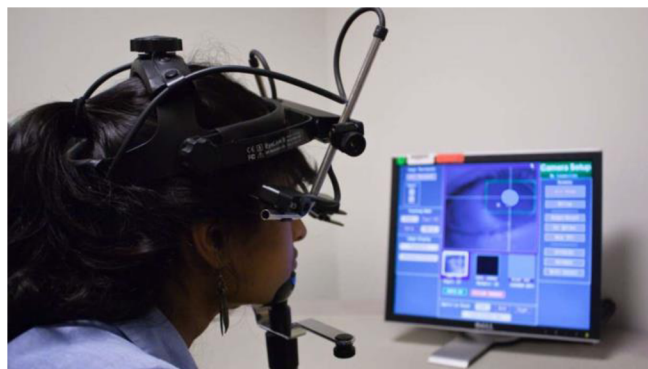
2.6.7 Zařízení pro sledování úhlu pohledu

Typy zařízení pro *eyetracking* se liší podle způsobu použití a technických řešení. Mezi nejběžnější patří přístroje ve formě brýlí, které se upevňují na hlavu a umožňují uživateli volný pohyb. Existují však i varianty vyžadující pevnou polohu hlavy, k čemuž se používají fixace brady nebo čela, aby se zajistila vyšší přesnost sledování. Kromě toho jsou dostupná i bezkontaktní zařízení, která automaticky sledují pohyb očí, aniž by byla nutná stabilizace hlavy, což zvyšuje pohodlí při měření a přispívá k přirozenějším podmínkám pro sledování. (viz Obr. 9 a Obr. 10).



Obr. 9: Zařízení upevněná přímo na hlavu [53]

Minimální vzorkovací frekvence těchto zařízení dosahuje 30 Hz, přičemž většina z nich pracuje na frekvenci 50 až 60 Hz. Současné (2024) eyetrackery však využívají frekvence až 240 nebo 350 Hz, a některé dokonce dosahují hodnot 1000 nebo 1250 Hz. Vyšší frekvence jsou zásadní pro přesné zachycení očních pohybů, protože umožňují detailní analýzu časování a průběhu fixací a sakadických pohybů, což je klíčové pro validní interpretaci dat [54]. Další podrobnosti viz následující strana 21.



Obr. 10: Zařízení sledující pohyb očí s pevnou polohou hlavy [56]

Oční pohyby lze obecně klasifikovat jako fixační a sakadické, což znamená buď udržení zrakové pozornosti v určitém směru, nebo její rychlý přesun do jiného směru. Spojením jednotlivých fixací a sakád vzniká tzv. scanpath, tedy křivka, která znázorňuje sledovaný vizuální průběh. Pohyb oka při pozorování pohybujícího se objektu je charakterizován plynulým sledováním této křivky. V situacích, kdy se oko snaží zaostřit na specifický cíl, mohou nastat tzv. mikrosakády, malé a mimovolné sakadické pohyby. I přes svůj sakadický charakter jsou tyto pohyby zařazovány mezi fixační. Průměrná délka fixace se pohybuje okolo 200 ms při čtení textu, 350 ms při vizuální analýze obrazu, a přibližně 200 ms je zapotřebí pro přípravu sakády k dalšímu cíli [55].

2.6.8 Funkce zařízení pro sledování úhlu pohledu

V rámci výzkumů se nejčastěji používají eyetrackery, které fungují na principu videa. Tato zařízení snímají jedno nebo obě oči a zaznamenávají jejich pohyb během pozorování různých podnětů. Většina eyetracků pracuje se středem zornice a blízkým infračerveným nekolimovaným světlem, aby vytvořily rohovkové odrazy. Vektor mezi středem zornice a odrazem na rohovce slouží k výpočtu směru pohledu nebo pozice sledovaného objektu. Před každým použitím je obvykle nutné eyetrackery zkalibrovat [52].

Pro sledování pohybu oka existují dvě hlavní techniky: světlá pupilární technika a temná pupilární technika. Hlavní rozdíl mezi těmito metodami spočívá v umístění zdroje osvětlení vzhledem k optické dráze oka. V případě, že je zdroj světla koaxiální s optickou dráhou, oko funguje jako retroreflektor, odrážející světlo od zornice, což vytváří světlý pupilární efekt, podobný efektu červených očí. Naopak, pokud je zdroj světla vychýlený od optické dráhy, odraz světla je tmavší. Světlá pupilární technika generuje výraznější kontrast mezi duhovkou a zornicí, což umožňuje přesnější a detailnější sledování pohybu oka. Tato metoda také značně redukuje vliv nežádoucích faktorů, jako jsou řasy či jiné rušivé elementy. Kromě toho umožňuje efektivní měření v širokém spektru světelných podmínek, od úplné tmy až po silné osvětlení. Nicméně světlá pupilární technika není optimální pro venkovní použití, protože vnější zdroje infračerveného záření mohou interferovat s měřením [52].

2.7 Zpětná zrcátka

Technologie pro nepřímý výhled zahrnují zařízení, která umožňují sledování dopravního prostoru kolem vozidla, kam není možné se podívat přímým pohledem. Tato zařízení zahrnují tradiční zrcátka, kamerové systémy spojené s monitory a další technologie, které poskytují řidiči informace o okolním výhledu.

Zpětná zrcátka představují jedno z nejběžněji používaných zařízení pro nepřímý výhled v automobilovém sektoru, která významně přispívají k zajištění viditelnosti a prevenci dopravních nehod. Tento fakt je podpořen i pravidly silničního provozu v mnoha zemích, které vyžadují jejich povinnou instalaci ve vozidlech. Zpětná zrcátka jsou nezbytnou součástí vozidel, která umožňují řidiči monitorovat prostor za vozidlem a v jeho okolí. Jejich primární funkcí je zajištění bezpečnosti během manévřů, jízdy a parkování, zejména při změně jízdních pruhů, otáčení vozidla a při couvání. Tato zařízení jsou klíčová pro včasné odhalení překážek a přispívají k lepší orientaci na silnici. V případě jejich absence by se řidiči museli spoléhat výhradně na přímý výhled otáčením horní části těla, což by výrazně zvyšovalo riziko ztráty kontroly nad vozidlem a mohlo vést k dopravním nehodám.

Představují tak zásadní prvek aktivní bezpečnosti vozidla. Jejich vývoj pokračuje s cílem optimalizovat viditelnost, zlepšit aerodynamiku vozidla a zvýšit komfort řidiče. Tyto technologické komponenty byly součástí automobilů již od jejich počátků a prošly několika vývojovými fázemi, které vyústily v jejich současnou podobu. Zpětná zrcátka lze klasifikovat do různých kategorií na základě jejich funkcionality a schopnosti zobrazit různé oblasti prostoru za vozidlem.

2.7.1 Počátky zpětných zrcátek

První známé použití zpětného zrcátka je často spojováno s rokem 1911 během závodu Indianapolis 500, kde závodník Ray Harroun nahradil spolujezdce za zrcátko umístěné na svém voze Marmon Wasp. Tento krok byl považován za průkopnický, i když existují důkazy, že podobné koncepty byly používány dříve.

Britská závodnice Dorothy Levitt již v roce 1909 ve své knize *The Woman and the Car* doporučovala, aby řidičky používaly ruční zrcátko k monitorování situace za vozidlem. Tento nápad byl inspirován nejen automobilismem, ale také použitím zrcátek u koňských povozů. První patent na nastavitelné zpětné zrcátko pro automobil byl

udělen Elmeru Bergerovi v roce 1921, což přispělo k rozšíření zpětných zrcátek jako standardního vybavení automobilů ve 20. letech 20. století. Tento vývoj položil základy modernímu konceptu zpětných zrcátek, který se od té doby stal klíčovým prvkem bezpečnosti na silnicích [58].

2.7.2 Legislativní požadavky na zpětná zrcátka

Legislativní požadavky na zrcátka v automobilovém průmyslu jsou definovány řadou mezinárodních a národních předpisů, které se zaměřují na bezpečnost, ergonomii a funkčnost zpětných zrcátek. Tyto předpisy zajišťují, že vozidla poskytují řidičům odpovídající zorné pole a minimalizují slepé úhly, čímž se snižuje riziko nehod. Jedním z předpisů je **Vyhláška č. 153/2023 Sb.** o schvalování technické způsobilosti vozidel a technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích stanovuje pravidla a postupy pro schvalování technické způsobilosti vozidel v České republice [142]. Tento právní předpis zahrnuje několik klíčových oblastí, které jsou nezbytné pro zajištění bezpečného a efektivního provozu vozidel na pozemních komunikacích.

Legislativa týkající se zpětných zrcátek je klíčovým faktorem pro zajištění bezpečnosti provozu. S technologickým vývojem se mění i požadavky na zrcátka, přičemž je nezbytné, aby moderní systémy splňovaly vysoké standardy kvality a spolehlivosti. Přijetí digitálních zrcátek do standardů a jejich postupná implementace do praxe představují krok směrem k vyšší bezpečnosti a pohodlí pro uživatele moderních automobilů.

Všechna zpětná zrcátka musí mít možnost seřízení. Okraj odrazné plochy by měl být upevněn v ochranném pouzdře (např. držáku), které by mělo mít po celém obvodu minimální tloušťku 2,5 mm. Zpětná zrcátka by měla být instalována tak, aby jejich pohyb významně neměnil zorné pole, ani aby nedocházelo k chvění, které by mohlo vést k nesprávné interpretaci zobrazovaného obrazu. Tyto podmínky musí být dodržovány až do 80 % maximální konstrukční rychlosti vozidla, avšak nepřesahující 150 km·h⁻¹. Legislativní požadavky na zpětná zrcátka jsou zásadní pro zajištění bezpečnosti a funkčnosti vozidel. Jsou určeny k tomu, aby zajistily, že zpětná zrcátka poskytují řidičům dostatečnou viditelnost a minimalizují rizika spojená s neviditelností v mrtvých úhlech. Pokud lze předepsané zorné pole zajistit jiným zařízením pro nepřímý výhled, může být tímto zařízením nahrazeno zrcátko, přičemž musí splňovat stejné požadavky jako samotné zrcátko [57].

U systémů typu kamera-monitor pro nepřímý výhled musí kamera správně fungovat i za podmínek, jako je slabé sluneční světlo, a zajišťovat kontrast jasu alespoň 1:3 v oblasti obrazu poblíž světelného zdroje. Tento světelný zdroj by měl osvětlit kameru minimálně intenzitou 40 000 luxů. Úhel mezi přímkou, která spojuje střed snímače a světelný zdroj, a kolmicí k rovině snímače by měl být 10°. Norma **ISO 15008:2003** stanovuje, že jas monitoru musí být přizpůsobitelný podle okolních podmínek a určuje jeho minimální hodnotu. Další zařízení pro nepřímý výhled vozidla by měla snímat viditelnou část spektra a poskytovat ji v této formě, bez potřeby další interpretace.

Norma **ECE R46** [59] je standardem pro zpětná zrcátka a stanovuje požadavky na velikost, umístění, a funkčnost zrcátek, aby byla pro řidiče zajištěna dostatečná viditelnost. Mezi základní požadavky patří minimální velikost zrcátka pro různé typy vozidel, umístění zrcátek tak, aby poskytovalo adekvátní viditelnost a minimalizovalo mrtvé úhly. Dále také odolnost vůči vibracím, mechanickému poškození či klimatickým podmínkám.

Mezi další relevantní normy, které se vztahují k technologii nepřímého výhledu a zrcátek ve vozidlech, patří například americká norma **FMVSS 111** [60] a japonská norma **JIS D 0205** [61]. Norma FMVSS 111, která je součástí amerických předpisů pro motorová vozidla, specifikuje požadavky na zrcátka a systémy pro nepřímý výhled a stanovuje minimální požadavky na zorné pole nebo viditelnost a umístění zrcátek pro zajištění bezpečnosti při řízení vozidla. Tato norma také zahrnuje specifikace pro alternativní technologie, jako jsou kamerové systémy a displeje, které mohou nahradit tradiční zrcátka.

Japonská norma JIS D 0205 se zaměřuje na specifikaci pro automobilová zrcátka a jejich konstrukci, stanovuje požadavky na jejich odolnost, funkčnost a výkonnost za různých podmínek. Tato norma se rovněž zaměřuje na bezpečnostní požadavky, které zajišťují adekvátní viditelnost a minimalizují riziko nehody způsobené neúplným nebo zkresleným obrazem, přičemž klade důraz i na využívání alternativních zobrazovacích technologií.

Obě normy hrají klíčovou roli při formování standardů pro technologii nepřímého výhledu a zajištění bezpečnosti silničního provozu, a to nejen v tradičních zrcátkách, ale i v moderních kamerových systémech, které jsou stále častěji implementovány v moderních vozidlech.

Zrcátka musí být navržena tak, aby byla snadno nastavitelná a umožňovala optimální zobrazení bez rušení řidiče. Legislativní požadavky se neustále vyvíjejí, aby reagovaly na nové technologie a zlepšovaly bezpečnost. S rostoucím významem autonomního řízení se mění i požadavky na zpětná zrcátka, přičemž legislativa se zaměřuje na integraci s pokročilými systémy asistence a autonomních funkcí [57].

Veškeré optické požadavky na zpětná zrcátka jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1: Třídy zpětných zrcátek [57]

Třída zrcátka	Kategorie vozidla			
	M1 a N1	N2 ≤ 7,5 t	N2 > 7,5 t	N3
I	Povinné – není-li vozidlo vybaveno čímkoli jiným než materiálem bezpečnostního zasklení v předepsaném poli výhledu. Nepovinné – pokud zrcátko nezajišťuje výhled směrem dozadu	Nepovinné – žádné požadavky na pole výhledu	Nepovinné – žádné požadavky na pole výhledu	Nepovinné – žádné požadavky na pole výhledu
II	Nepovinné	Povinné – jedno na straně řidiče a jedno na straně spolujezdce	Povinné – jedno na straně řidiče a jedno na straně spolujezdce	Povinné – jedno na straně řidiče a jedno na straně spolujezdce
III	Povinné – jedno na straně řidiče a jedno na straně spolujezdce, alternativně mohou být namontována zrcátka třídy II	Není dovoleno	Není dovoleno	Není dovoleno
IV	Nepovinné – jedno na straně řidiče a/nebo jedno na straně spolujezdce	Povinné – pro obě strany, lze-li namontovat zrcátko třídy V. Nepovinné – pro obě strany zároveň, není-li to možné	Povinné – jedno na straně řidiče a jedno na straně spolujezdce	Povinné – jedno na straně řidiče a jedno na straně spolujezdce
V	Nepovinné – jedno na straně řidiče a jedno na straně spolujezdce (obě musí být namontována nejméně 2 m nad vozovku)	Povinné – jedno na straně spolujezdce. Nepovinné – jedno na straně řidiče (obě musí být namontována nejméně 2 m nad vozovku)	Povinné – jedno na straně spolujezdce. Nepovinné – jedno na straně řidiče (obě musí být namontována nejméně 2 m nad vozovku)	Povinné – jedno na straně spolujezdce. Nepovinné – jedno na straně řidiče (obě musí být namontována nejméně 2 m nad vozovku)
VI	Nepovinné – musí být namontováno nejméně 2 m nad vozovku	Nepovinné – jedno přední zrcátko (musí být namontováno nejméně 2 m nad vozovku)	Povinné – jedno přední zrcátko (musí být namontováno nejméně 2 m nad vozovku)	Povinné – jedno přední zrcátko (musí být namontováno nejméně 2 m nad vozovku)

2.7.2.1 Rozměry konvenčních zpětných zrcátek

Třída I

Velikost odrazné plochy musí být alespoň taková, aby do ní bylo možné vložit obdélník s jednou stranou dlouhou 40 mm a druhou stranou o délce a , přičemž musí být splněn následující vztah: [57]

$$a = 150 * \frac{1}{1 + \frac{1\,000}{r}} \text{ [mm]} \quad (3)$$

kde r ...poloměr křivosti [mm]

Třída II a III

Rozměr odrazného povrchu zrcátka musí splňovat dvě následující podmínky. První podmínka stanovuje, že do této plochy lze vepsat obdélník s výškou 40 mm a délkou základny a , přičemž hodnota a je měřena v milimetrech. Druhá podmínka určuje, že do odrazného povrchu lze vepsat úsečku rovnoběžnou s výškou obdélníku, jejíž délka je označena jako b , také v milimetrech. Minimální hodnoty těchto parametrů jsou specifikovány v následujících vztazích: [57]

Třída II

$$a = \frac{170}{1 + \frac{1\,000}{r}} \text{ [mm]}$$
$$b = 200 \text{ [mm]} \quad (4)$$

kde r ...poloměr křivosti [mm]

Třída III

$$a = \frac{130}{1 + \frac{1\,000}{r}} \text{ [mm]}$$
$$b = 200 \text{ [mm]} \quad (5)$$

kde r ...poloměr křivosti [mm]

Třída IV, V, VI

Obrysy odrazné plochy musí mít jednoduchý geometrický tvar, jako je čtverec, obdélník, kruh a podobně. Její rozměry musí být dostatečně velké, aby ve spojení s vnějšími zrcátky třídy II zajistily optimální zorné pole, pokud je to nezbytné [57].

2.7.2.2 Odrazný povrch

Odrazná plocha zpětného zrcátka musí být buď plochá, nebo sféricky vypouklá. Pokud hlavní zrcátko splňuje požadavky na nepřímé zorné pole, lze vnější zrcátka doplnit o asférickou část pro zlepšení výhledu.

Asférická část zrcátka musí mít dostatečnou velikost a tvar, aby řidiči poskytovala co nejvíce užitečných informací. Obvykle to znamená, že minimální šířka této části je 30 mm a poloměr zakřivení nesmí být menší než 150 mm [57].

2.7.2.3 Umístění zrcátek

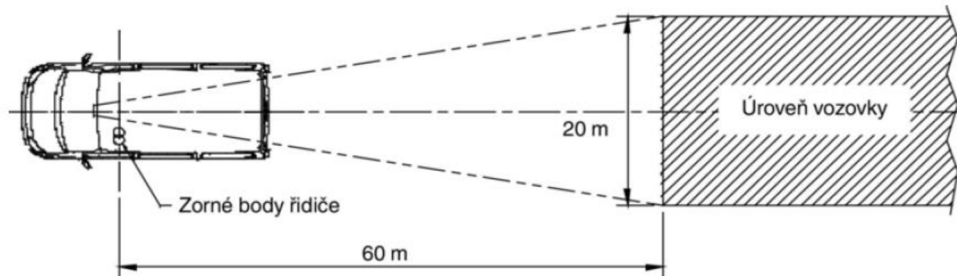
Zrcátka musí být umístěna tak, aby řidič ve své běžné poloze měl jasný výhled za vozidlo, po jeho stranách nebo před vozidlem. Vnější zrcátka musí být viditelná skrze část předního skla, kterou čistí stěrač, nebo bočními okny. Toto pravidlo se však z konstrukčních důvodů nevztahuje na zrcátka třídy VI.

Umístění předepsaného vnějšího zrcátka na straně řidiče musí zajistit, že úhel mezi podélnou svislou rovinou vozidla a svislou rovinou procházející středem vnějšího zrcátka a středem úsečky dlouhé 65 mm, spojující oba zorné body řidiče, nepřesáhne 55°. Pokud je vozidlo plně naloženo na maximální přípustnou hmotnost a spodní hrana zrcátka je umístěna méně než 2 m nad zemí, zrcátko nesmí přechýlat šířku vozidla (bez zrcátek) o více než 250 mm [57].

2.7.2.4 Pole výhledu

Vnitřní zpětná zrcátka třídy I

Minimální zorné pole, které musí řidič vidět, zahrnuje 20 m širokou rovnou a vodorovnou část vozovky. Tato část má svůj střed v podélné svislé rovině vozidla a nachází se 60 m za zornými body řidiče směrem k obzoru (viz Obr. 11) [57].

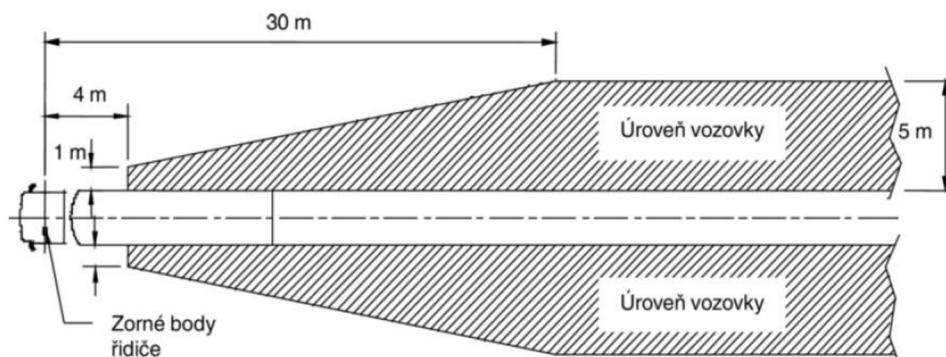


Obr. 11: Pole výhledu zrcátek třídy I [35]

Hlavní vnější zpětná zrcátka třídy II

Na straně řidiče musí zorné pole umožňovat řidiči vidět alespoň 5 m širokou rovnou a vodorovnou část vozovky. Tato část vozovky prochází krajním bodem vozidla na straně řidiče, je ohraničena rovinou rovnoběžnou s podélnou svislou rovinou vozidla a sahá do vzdálenosti 30 m za zornými body řidiče směrem k obzoru. Dále musí řidič vidět pás vozovky o šířce 1 metr, který je ohraničen rovinou rovnoběžnou s podélnou svislou rovinou vozidla, procházející krajním bodem vozidla, a nachází se 4 m za svislou rovinou procházející zornými body řidiče (viz Obr. 12).

Pro vnější zrcátka na straně spolujezdce platí stejná pravidla pro zorné pole jako u zrcátek na straně řidiče, avšak zorné pole prochází krajním bodem vozidla na straně spolujezdce [57].

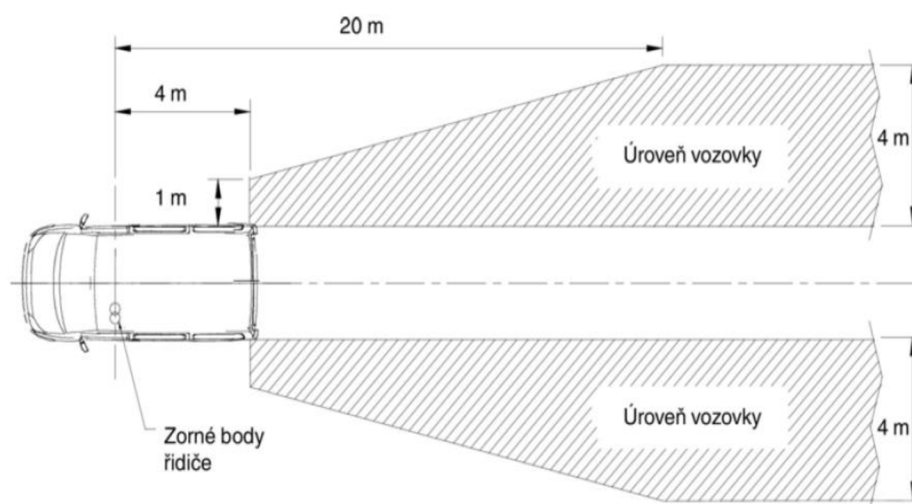


Obr. 12: Pole výhledu zrcátek třídy II [57]

Hlavní vnější zpětná zrcátka třídy III

Na straně řidiče musí mít řidič možnost vidět alespoň 4 m širokou rovnou a vodorovnou část vozovky, která prochází krajním bodem vozidla na této straně. Tato část je ohraničena rovinou rovnoběžnou se střední svislou rovinou vozidla a sahá do vzdálenosti 20 m za zornými body řidiče směrem k obzoru. V rámci tohoto zorného pole by měl řidič vidět pás vozovky široký 1 m, který je ohraničen rovinou rovnoběžnou se střední svislou rovinou vozidla a prochází krajním bodem vozidla, přičemž začíná 4 m za svislou rovinou, jež prochází zornými body řidiče (viz Obr. 13) [57].

Na straně spolujezdce, stejně jako u předchozích zrcátek třídy II, platí pro pole výhledu této třídy zrcátek stejné parametry, přičemž změna spočívá pouze v tom, že pole výhledu je ohraničeno rovinou procházející krajním bodem vozidla na straně spolujezdce. Velikosti a určení rovin zůstávají shodné, tedy 4 m široká rovina, vzdálenost 20 m, pás o šířce 1 m a 4 m svislá rovina (viz Obr. 13) [57].



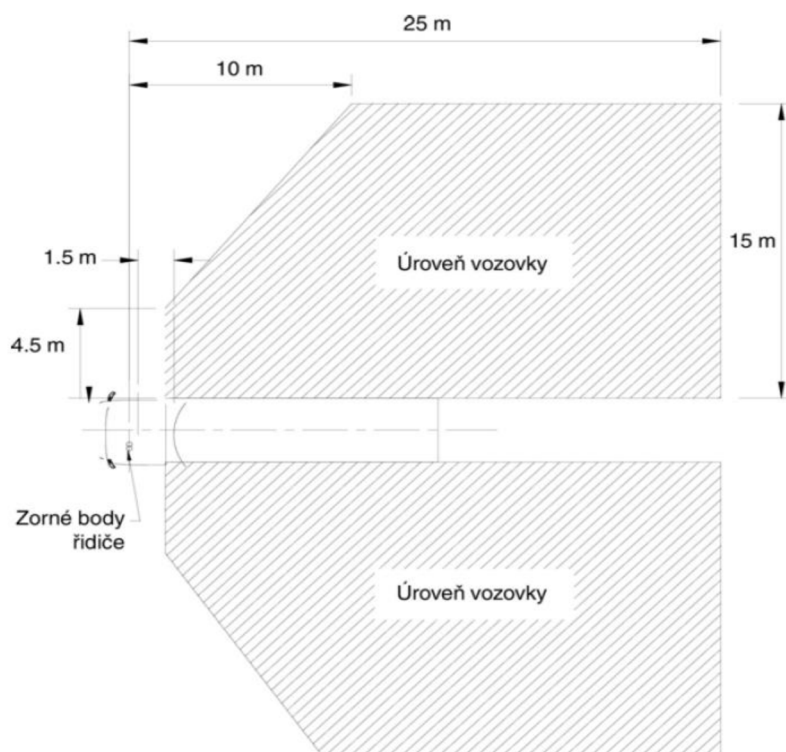
Obr. 13: Pole výhledu zrcátek třídy III [57]

Širokoúhlé vnější zrcátko třídy IV

Na straně řidiče musí být zorné pole navrženo tak, aby řidič měl možnost vidět alespoň 15 m širokou vodorovnou a rovnou část vozovky. Tato část je ohraničena rovinou rovnoběžnou se střední podélnou rovinou vozidla a prochází krajním bodem vozidla na straně řidiče. Musí sahat od vzdálenosti 10 m do minimálně 25 m za zornými body řidiče. Kromě toho musí mít řidič výhled na pás vozovky o šířce 4,5 m, který je ohraničen rovinou rovnoběžnou se střední podélnou svislou rovinou vozidla a prochází krajním

bodem vozidla a nachází se 1,5 m za svislou rovinou procházející zornými body (viz Obr. 14) [57].

Na straně spolujezdce platí obdobná situace jako u předchozích tříd. Výhled je zde zrcadlově odražen přes střední podélnou osu vozidla směrem ke spolujezdci. Výhledová plocha má shodné rozměry a velikosti, přičemž je opět ohraničena rovinou, která prochází krajním bodem vozidla na straně spolujezdce (viz Obr. 14) [57].



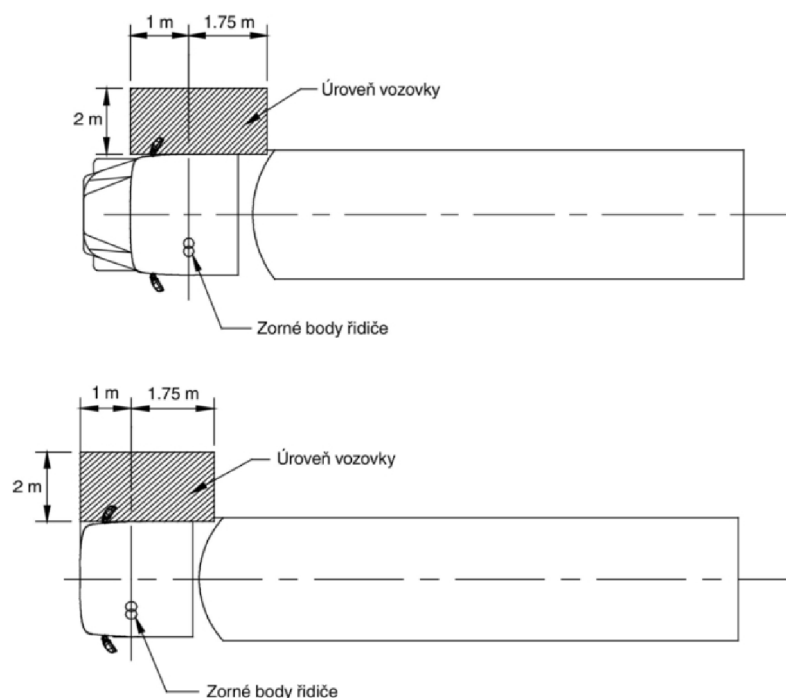
Obr. 14: Pole výhledu zrcátek třídy IV [57]

Blízkopohledové vnější zrcátko třídy V

Řidičovo zorné pole musí být navrženo tak, aby umožňovalo výhled na rovnou a vodorovnou část vozovky podél strany vozidla. Tato část je ohraničena následujícími rovinami (viz Obr. 15) [57]:

- rovinou rovnoběžnou se střední svislou podélnou rovinou vozidla, která prochází krajním bodem kabiny vozidla na straně spolujezdce, a zároveň příčnou rovinou rovnoběžnou, vzdálenou 2 m od boku vozidla na straně spolujezdce
- vzadu rovinou rovnoběžnou se svislou rovinou procházející zornými body řidiče, která je umístěna 1,75 m za touto rovinou

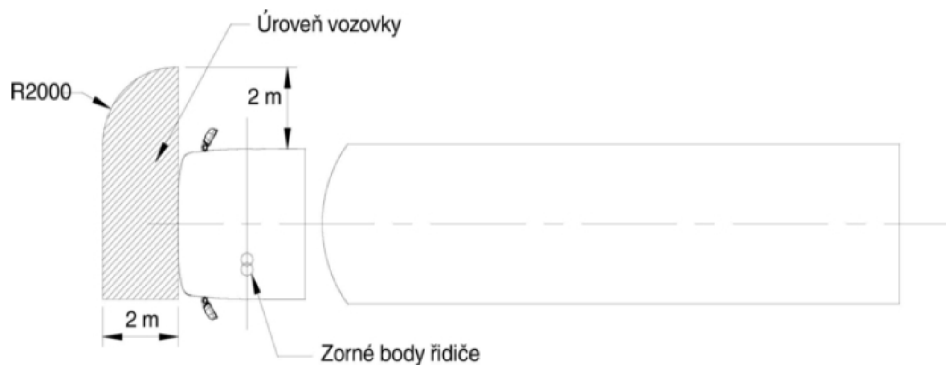
- vpředu rovinou rovnoběžnou se svislou rovinou procházející zornými body řidiče, která leží 1 m před touto rovinou. Pokud je svislá příčná rovina, která prochází přední hranou nárazníku vozidla, umístěna méně než 1 m před svislou rovinou procházející zornými body řidiče, pole výhledu se omezí touto rovinou.



Obr. 15: Pole výhledu zrcátek třídy V [57]

Přední zrcátko třídy VI

Zorné pole řidiče musí být navrženo tak, aby zahrnovalo alespoň rovnou a vodorovnou část vozovky, která je ohraničena následujícími rovinami (viz Obr. 16) [57].



Obr. 16: Pole výhledu zrcátek třídy VI [57]

- a) příčnou svislou rovinou procházející krajním bodem přední části vozidla,
- b) příčnou svislou rovinou umístěnou 2 m před rovinou definovanou v bodě a),
- c) podélnou svislou rovinou rovnoběžnou se střední podélnou svislou rovinou vozidla, která prochází krajním bodem vozidla na straně řidiče,
- d) podélnou svislou rovinou rovnoběžnou se střední podélnou svislou rovinou vozidla, která je umístěna 2 m vně od krajního bodu vozidla na opačné straně než strana řidiče.

Překážky ve výhledu u vnitřního zpětného zrcátka třídy I

Zorné pole může být zmenšeno různými zařízeními, jako jsou opěrka hlavy, sluneční clona, stěrače zadního skla, prvky vyhřívání, brzdová svítlna, nebo částmi karoserie, například sloupky oken zadních dělených dveří. Požadované zorné pole může být zmenšeno pouze částečně. Stupeň zakrytí se měří v situaci, kdy je opěrka hlavy nastavena na nejnižší pozici a sluneční clona je sklopená směrem dozadu [57].

Překážky ve výhledu vnějších zrcátek třídy II, III, IV, V a VI

U výše uvedených zorných polí může dojít ke zmenšení maximálně o 10 % ve srovnání s požadovaným zorným polem. Výjimkou jsou zrcátka třídy VI u vozidel určených pro zvláštní účely. U těchto vozidel může být zakrytí požadovaného zorného pole vyšší než 10 %, přičemž zakrytí nesmí překročit míru, která je nezbytně nutná. Příkladem může být posypový vůz, na jehož výhledové ploše je připevněna sněhová radlice [57].

2.8 Konvenční zpětná zrcátka

Konvenční zpětná zrcátka jsou optická zařízení, umístěna jak uvnitř i vně vozidla a umožňují tak řidiči sledovat prostor po stranách a za vozidlem. Středové zrcátko je umístěno uvnitř vozidla, obvykle v horní části čelního skla a poskytuje řidiči přehled o provozu za vozidlem skrze zadní okno. Boční zrcátka jsou umístěna na obou stranách vozidla, většinou na dveřích nebo karoserii vozu. Poskytují tak širší zorné pole, zejména na boky vozidla. Konvenční zrcátka jsou často manuálně či elektricky nastavitelná v horizontálním a vertikálním směru, což umožňuje řidiči přizpůsobit jejich polohu pro optimální viditelnost a mohou být vybavena vyhříváním pro zlepšení viditelnosti v chladném počasí, obsahují totiž vyhřívací prvky, které pomáhají odstraňovat námrazu a mlhu.

Dále pomáhají redukovat mrtvé úhly, tedy oblasti, které jsou mimo přímý zrak řidiče, čímž umožňují lepší rozhodování při změně jízdního pruhu a manévrování. Pomáhají řidiči sledovat a detekovat polohu ostatních vozidel a překážek, což snižuje riziko nehody. Usnadňují parkování a manévrování v úzkých prostorech tím, že poskytují důležitou vizuální informaci o prostoru kolem vozidla. Konvenční zrcátka jsou obvykle jednodušší na údržbu a opravy než digitální zrcátka, protože obsahují méně sofistikovaných technologií. Zrcátka jsou vybavena skly, která mohou mít různé úpravy, jako je zrcadlový povrch pro lepší odraz, protisluneční úpravy nebo zakřivení pro širší zorné pole. Zrcátka jsou obvykle obklopena krytem a rámem, které chrání sklo a poskytují estetický vzhled. Mohou být vyrobeny z různých materiálů, včetně plastu a kovu [17, 59].

2.8.1 Materiály a konstrukční technologie

Pro automobilová zpětná zrcátka se používá speciální sklo s tenkou vrstvou kovu, která odráží světlo. Typicky se používá sklo s vrstvou stříbra nebo hliníku pro dosažení požadované reflexní kvality. Mnohá zrcátka mají speciální úpravy, jako je ochrana proti oslňování (např. elektrochromatické sklo), odolnost proti poškrábání, a úprava proti mlze. Sklo může být také zakřivené, aby rozšířilo zorné pole. Je obvykle vyrobeno z bezpečnostního skla, které je odolné vůči nárazům a prasklinám. Rám a kryt zrcátka jsou často vyrobeny z plastů, jako jsou ABS (akrylonitril-butadien-styren) nebo polykarbonát. Tyto materiály jsou lehké, odolné proti nárazům a levnější na výrobu. Některé zrcátka používají vysoce kvalitní plasty, které odolávají UV záření a povětrnostním podmínkám, čímž prodlužují jejich životnost. Kovy, jako je hliník nebo

ocel, jsou používány v konstrukci zpevňujících částí, jako jsou montážní držáky a pohyblivé části mechanismu. Kovové části mohou být potaženy ochrannými vrstvami proti korozi a poškrábání, jako je chromování nebo práškové lakování. Guma nebo elastomery se používají pro těsnění, která zabraňují pronikání vody a nečistot do konstrukce zrcátka a poskytují flexibilitu a odolnost proti nárazům.

Zrcátka mohou mít různé mechanismy pro nastavení úhlu pohledu, které mohou být manuální (ručně nastavitelné) nebo elektrické (ovládané motorem). Zrcátka mohou mít otočné rameno, které umožňuje jejich nastavení v různých směrech, a často obsahují pružiny nebo jiná zařízení pro stabilizaci a držení v požadované pozici. Zrcátka jsou připevněna k vozidlu pomocí různých montážních systémů, které zahrnují šrouby, klípy nebo speciální upevňovací prvky, které zajišťují jejich stabilní umístění. Instalace zrcátka na vozidlo vyžaduje pečlivé měření a nastavení, aby se zajistilo správné zorné pole a ergonomické umístění. Některá zrcátka mohou obsahovat integrované blikáče, senzory nebo kamery pro zvýšení bezpečnosti a funkcionality [59].

2.8.2 Konvenční vnitřní zrcátko

Vnitřní zpětné zrcátko je umístěno uvnitř kabiny vozidla, obvykle na předním skle. Toto zrcátko poskytuje výhled na zadní okno vozu a umožňuje sledovat provoz za vozidlem. Některá moderní vnitřní zrcátka jsou vybavena funkcemi jako automatické stmívání při oslnění světly za vámi jedoucího vozu. Tradiční zrcátka používají reflexní skleněnou plochu k odrazu obrazu okolí. Tento typ zrcátek je stále nejrozšířenější, i když jejich funkčnost může být omezena vlivy jako oslnění, špatné počasí nebo nedostatek osvětlení v noci [59, 60].

2.8.3 Konvenční vnější zrcátka

Vnější konvenční zrcátka jsou standardní zrcátka umístěná na vnějších stranách vozidla. Tato zrcátka obvykle obsahují reflexní sklo uzavřené v pouzdru a jsou namontována na dveřních panelech nebo A-sloupcích vozidla. Poskytují řidiči pohled na oblasti vedle a za vozidlem, což pomáhá při manévrování a zvyšuje viditelnost. Vnější konvenční zrcátka jsou běžně používaná v drtivé většině vozidel a představují tradiční technologii pro boční viditelnost při řízení [59, 60].

2.9 Digitální zpětná zrcátka

Digitální zpětná zrcátka v osobních automobilech je inovativní technologie, která nahrazuje konvenční zrcátka. Namísto optického odrazu prostřednictvím konvenčního zrcátka jsou obrazové informace přenášeny kamerami, které zaznamenávají okolí vozidla a následně zobrazují na displejích v kabině. Namísto konvenčních zrcátek jsou v exteriéru vozu umístěny vysoce citlivé kamery. Tyto kamery snímají širokouhlý obraz a přenášejí ho v reálném čase na displeje uvnitř vozidla. Displeje jsou umístěny buď na sloupcích dveří, nebo na jiných vhodných místech v kabině. K tomu, aby byl obraz přesně zpracován a přenesen v reálném čase, je klíčový sofistikovaný software, který minimalizuje zkreslení a latenci a umožňuje různé úpravy zobrazení dle potřeby řidiče.

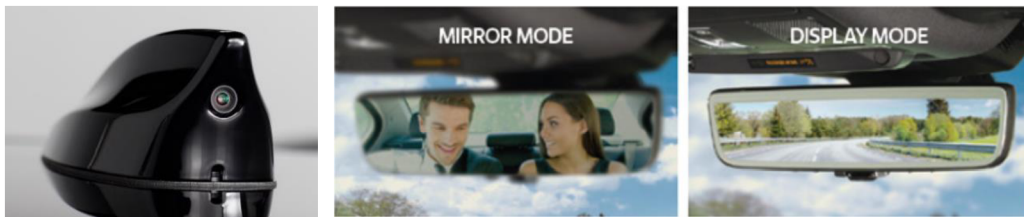
Digitální kamery mohou poskytnout širší zorné pole než konvenční zrcátka a mohou být méně ovlivněny povětrnostními podmínkami, jako je déšť nebo nečistoty. Absence fyzických zrcátek na stranách vozidla snižuje odpor vzduchu, což může mít pozitivní vliv na snížení hluku a aerodynamiku vozu. Na základě expertního šetření však bylo zjištěno, že řidiči mají obtíže s přizpůsobením se digitálním zrcátkům. Zpracování digitálního obrazu, i když je často velmi rychlé, může vést k drobným zpožděním, což může negativně ovlivnit reakční dobu řidiče, zejména v krizových situacích [62].

2.9.1 Materiály a konstrukční technologie

Tento systém se skládá z kamerových modulů, často s širokouhlými objektivy, zajišťující široké zorné pole. Používají se technologie zpracování obrazu pro zlepšení viditelnosti za různých podmínek (např. noční vidění, redukce oslnění). Jsou často vyrobeny z plastů nebo kovů odolných vůči povětrnostním podmínkám a mechanickému opotřebení. Displeje umístěné v interiéru jsou obvykle z tekutých krystalů (LCD) nebo organických světelných diod (OLED), které poskytují vysokou kvalitu obrazu a odolnost. Používají se také materiály s antireflexními a odolnými vrstvami proti poškrábání, aby byla zajištěna dlouhá životnost a spolehlivost. Pokročilé algoritmy pro zpracování obrazu dokáží rozpoznat objekty, zlepšit obraz v reálném čase a integrovat digitální zrcátka s dalšími asistenčními systémy vozidla [59].

2.9.2 Digitální zrcátka vnitřní

Kamera je umístěna na zádi vozu a přenáší obraz na displej uvnitř vozu (viz Obr. 17). Systém Gentex Full Display Mirror od americké společnosti Gentex Corporation optimalizuje viditelnost tím, že zajišťuje širokoúhlý výhled dozadu, bez rušení prvky uvnitř vozidla, jako jsou opěrky hlavy či zavazadla. Zrcátko nabízí bimodální funkčnost, umožňující buď použití jako standardní automaticky stmívatelné zpětné zrcátko, nebo jako displej (viz Obr. 17). Režim displeje poskytuje lepší výhled za vozidlo, čímž zvyšuje bezpečnost jízdy, protože eliminuje omezení způsobená C/D sloupky, malými okny nebo objekty umístěnými uvnitř vozidla. Zrcadlový režim slouží jako záložní řešení v případě výpadku kamery nebo displeje nebo pokud je kamera zablokována nečistotami nebo ledem. Tento režim také umožňuje zobrazení interiéru vozidla, včetně zadních sedadel a cestujících. Řidič si může volit mezi zrcadlovým a displejovým režimem podle aktuálních potřeb a jízdních situací. Plně automatické stmívání v zrcadlovém režimu navíc synchronizuje vnitřní i vnější stmívatelná zrcátka pro zajištění optimální viditelnosti [62].



Obr. 17: Kamera v ploutvi na střeše vozu a vnitřní středové digitální zrcátko [62]

Digitální videorekordér od společnosti Gentex, integrovaný do zpětného zrcátka, umožňuje kontinuální záznam událostí. Tento systém je plně integrovaný do struktury vozidla, eliminuje nutnost použití viditelných napájecích kabelů či externích obrazovek, které by mohly narušit výhled řidiče. Nabízí podporu pro více kamer, zpětné přehrávání záznamů a možnost stahování videí. Mezi rozšířené funkce patří technologie Bluetooth, WiFi, záznam zvuku a vestavěný snímač otřesů. Dotykové rozhraní poskytuje přístup k funkcím, jako je přiblížení, posunutí či upravení jasu (viz Obr. 18) [62].



Obr. 18: Vnitřní středové digitální zrcátko [62]

V současné době se vnitřní středová digitální zrcátka používají hlavně v prémiových modelech vozidel např. Cadillac CT6 nebo Range Rover Evoque, nicméně experimentuje se s nimi v současnosti také v dodávkách, nákladních či zemědělských strojích.

První zmiňovaný vůz **Cadillac CT6** disponuje systémem zpětného zrcátka s displejem a současně nabízí možnost přepínat mezi konvenčním zrcátkem a zobrazením z kamery. Tento systém poskytuje přibližně čtyřikrát širší zorné pole než tradiční zrcátko, čímž snižuje mrtvé úhly a eliminuje překážky, jako jsou cestující nebo zadní sloupky. Obraz je zobrazen obrazovce TFT-LCD s rozlišením 1280x240, která ve vysokém dynamickém rozsahu (HDR) zajišťuje obraz i za zhoršených světelných podmínek. Kamera je vybavena hydrofobním povlakem, který odpuzuje vodu a zajišťuje čistotu obrazu (viz Obr. 19) [63].



Obr. 19: Cadillac CT6 [63, 64, 65]

Range Rover Evoque také nabízí vnitřní digitální zrcátko, které zobrazuje obraz kamery umístěné na zádi vozu. Digitální zpětné zrcátko ClearSight (viz Obr. 20) využívá kameru na zádi vozidla, která poskytuje širokouhlý pohled na silnici, což je užitečné, když cestující nebo náklad blokují výhled. Řidiči mohou přepínat mezi tradičním zrcátkem a zobrazením z kamery, což jim nabízí větší flexibilitu a pohodlí [66, 67].



Obr. 20: Range Rover Evoque [66, 67]

Evoque také nabízí technologii **ClearSight Ground View**, která umožňuje řidičům "vidět skrz kapotu", což je užitečné při jízdě v terénu nebo manévrování v úzkých prostorech. Kamery umístěné na přední mřížce a konvenčních bočních zrcátkách spojují

obraz terénu, který je zobrazen na centrální infotainment obrazovce a ukazuje polohu kol a okolní překážky [68].

Příkladem použití moderní technologie digitálního středového zrcátka u užitkových vozů je **Ford E-transit** (viz Obr. 21). Jedná se o elektrickou verzi populárního modelu Transit. Model se stal známým nejen svým elektrickým pohonem, ale také technologickými inovacemi, včetně digitálních zrcátek.



Obr. 21: Ford E-transit [69]

2.9.3 Digitální zrcátka vnější

Stejně jako digitální zrcátka vnitřní středová se i vnější boční digitální zrcátka používají hlavně v prémiových modelech osobních vozidel např. Audi E-tron či Lexus ES, Honda E a další. S vnějšími bočními digitálními zrcátky se můžeme v současnosti setkat také u nákladních vozidel, např. Mercedes-Benz Actros nebo Man. Oproti těmto již sériově vyráběným vozům vznikají také koncepční modely značek BMW, Lexus, Porsche či Škoda-Auto. Tyto automobilky se do svých modelů pokusily digitální zrcátka implementovat.

Příkladem takového konceptu je **Lexus LF-1 Limitless** (viz Obr. 22), který byl představen v roce 2018 na autosalonu v Detroitu. Tento koncept se zaměřuje na autonomní technologie, futuristický design a elektrifikaci. Koncept LF-1 se řadí mezi vozidla, která se snaží přinést inovace v oblasti aerodynamiky a technologie zpětných zrcátek [70].



Obr. 22: Lexus LF-1 Limitless exteriér [70]

Lexus je známý svým důrazem na technologické inovace a zkoumá použití digitálních zrcátek také u ostatních svých modelů. Dalšími klíčovými vlastnosti Lexus LF-1 Limitless je autonomní řízení, elektrifikace a minimalistický design. LF-1 byl navržen s myšlenkou na plnou elektrifikaci, a to buď s bateriemi, palivovými články, nebo hybridním pohonem. Kabina vozu je zaměřena na řidiče, s jednoduchým, avšak luxusním interiérem (viz Obr. 23) [70].



Obr. 23: Lexus LF-1 Limitless kokpit [70]

Dalším zástupcem je **BMW i8**, které ve své Mirrorless Concept variantě představilo inovativní přístup k technologii zrcátek ve vozidlech. Tento koncept byl představen na Consumer Electronics Show (CES) 2016, kde tradiční boční zrcátka nahradil systém tří kamer, dvě na stranách a jedna na zádi vozu. Tyto kamery přenášejí živý obraz do centrálního displeje uvnitř vozu (viz Obr. 24). Kamery jsou umístěny v aerodynamicky optimalizovaných držácích, což snižuje šířku vozu a odpor vzduchu [71].



Obr. 24: Kokpit vozu BMW i8 [71]

Posledním zástupcem konceptů zaměřených na technologii digitálních zrcátek je **Škoda Vision iV** (viz Obr. 25). Tento koncept plně elektrického crossoveru kupé, který byl představen v roce 2019 představuje budoucnost značky v oblasti elektromobility. Mezi jeho hlavní inovace patří nahrazení tradičních bočních zrcátek digitálními kamerami, které jsou namontovány na nosičích připomínajících žraločí ploutve.

Navzdory tomu, že byla tato technologie velmi pokročilá, zůstala ve fázi konceptu a neměla okamžité plány na sériovou výrobu. Cílem této inovace bylo nejen zlepšit bezpečnost a snížit mrtvé úhly, ale také zvýšit energetickou účinnost díky sníženému aerodynamickému odporu [72, 73].



Obr. 25: Škoda Vision iV [72]

Futuristický plug-in hybrid **Volkswagen XL1** (viz Obr. 26) byl jedním z prvních komerčních vozů, který používal digitální zrcátka. Celkově byl navržen s důrazem na maximální efektivitu a aerodynamiku. Celková produkce dosáhla pouze počtu 250 kusů [74, 75, 76].



Obr. 26: Volkswagen XL 1 [75, 76]

Sériově vyráběným vozem, jenž nabízí kamerový systém Digital Outer Mirror je **Lexus ES**. (viz Obr. 27), Tento systém taktéž zobrazuje obraz z kamer na displejích v interiéru vozu. Lexus ES se pyšní zlepšením aerodynamiky a snížením hluku obtékaného vzduchu díky menšímu rozměru kamer ve srovnání s tradičními zrcátky [77, 78, 79, 80, 81].



Obr. 27: Lexus ES [81]

Audi E-tron (viz Obr. 28), je také jedním z prvních sériově vyráběných vozů, které využívají digitální boční zrcátka. Obraz z kamer je přenášěn na OLED displeje umístěné ve dveřních výplních [82, 83].



Obr. 28: Audi E-tron [84, 85]

Posledním zástupcem z kategorie osobních vozů je vůz **Honda E**. Jedná se o kompaktní plně elektrický městský vůz, který se vyznačuje minimalistickým designem a pokročilými technologiemi, včetně digitálních zrcátek. Obraz z kamer se zobrazuje na 6palcových displejích uvnitř dveří vozu, a digitální zrcátka jsou vylepšena o funkci automatického přizpůsobení jasů a možnosti zobrazit širokoúhlý pohled (viz Obr. 29) [86, 87].



Obr. 29: Honda E [87, 88]

Digitální zrcátka se postupně stávají standardem nejen u luxusních automobilů, ale pronikají také do segmentu mainstreamových vozidel. S rostoucím důrazem na aerodynamiku a bezpečnost se očekává, že tato technologie bude rozšiřována i do dalších segmentů, jako jsou nákladní a užitkové vozy nebo speciální stroje, jako jsou zemědělské a stavební stroje. Dále se zkoumají způsoby, jak zlepšit rozlišení kamer, snížit latenci přenosu obrazu a rozšířit možnosti přizpůsobení pro různé typy jízdních situací.

Technologie digitálních zrcátek a displejů nachází své uplatnění také v nákladních automobilech či autobusech, kde přináší několik specifických výzev. Nákladní vozy a autobusy mají specifické potřeby vzhledem k jejich velikosti, manévrovatelnosti a bezpečnostním rizikům, což činí digitální zrcátka zajímavou alternativou k tradičním zpětným zrcátkům.

Například mrtvé úhly jsou pro tyto automobily obrovským rizikem, zejména při manévrování ve městě. Digitální zrcátka mohou pomocí širokouhlých kamer a sofistikovaných senzorů pokrýt větší prostor než konvenční zrcátka a významně redukovat tyto mrtvé úhly. Zrcátka mohou být kombinována s asistenčními systémy (ADAS), jako je detekce překážek nebo varování před změnou pruhu, což zlepšuje celkovou bezpečnost provozu nákladních vozidel. Nákladní automobily jsou výrazně větší než osobní vozy, což klade vyšší nároky na kvalitu a rozsah záběru kamer. Systémy musí zajistit jasný a široký obraz bez zkreslení, a to zejména při couvání nebo odbočování. Nákladní automobily jsou vystaveny náročným podmínkám, jako jsou vibrace, extrémní teploty a zvýšené mechanické zatížení. Kamery a displeje musí být navrženy tak, aby byly odolné vůči těmto podmínkám a dlouhodobě spolehlivé. Zvláště v oblasti dopravy, kde se očekává dlouhá životnost komponentů a minimální potřeba údržby, musí být digitální zrcátka a displeje extrémně odolné vůči povětrnostním vlivům, jako jsou nečistoty, voda, led či fyzické poškození.

Příkladem nákladních automobilů s digitálními technologiemi jsou vozy značky **Mercedes-Benz Actros**. Jedná se o jeden z prvních nákladních vozů, který začal používat digitální zrcátka „MirrorCam“ (viz Obr. 30). Tyto kamery jsou namontovány na boky kabiny, přenášejí obraz na displeje uvnitř vozidla, a zajišťují lepší aerodynamiku a redukci mrtvých úhlů [89].



Obr. 30: Mercedes-Benz Actros [89]

Dalším zástupcem jsou vozy značky **Scania** nové generace, např. Scania R500 (viz Obr. 31). Využívají systém kamer a displejů pro lepší výhled, zejména v městském provozu, kde je důležitá redukce mrtvých úhlů při manévrování v husté zástavbě [90, 91].



Obr. 31: Scania R500 [90, 91]

Dalším příkladem jsou vozy značky **MAN TGX** (viz Obr. 32), **TGS**, **TGL** či **TGM**, které rovněž integrují digitální zpětná zrcátka. Kamery jsou umístěny na strategických místech, aby zajistily kompletní výhled kolem vozu. Firma MAN Truck & Bus představila svůj OptiView na veletrhu IAA v Hannoveru v roce 2018 a jako první použila digitální zpětná zrcátka v turistických autobusech [92, 93, 94].



Obr. 32: MAN TGX [93, 94]

Od roku 2022 se rozšířila jejich instalace také do městských a regionálních autobusů značky MAN. Systém je dostupný pro všechny modely autobusů **NEOPLAN Tourliner** a **MAN Lion's Coach** (viz Obr. 33), včetně plně elektrického **Lion's City E** [95].



Obr. 33: MAN Lion's Coach [95]

Výhodou použití digitálních zrcátek u autobusů je dle výrobce eliminace mrtvého úhlu pro řidiče a výrazně lepší viditelnost za tmy a za nepříznivého počasí. Digitální systém využívá dvě kamery na každé straně autobusu, které zobrazují ve vysokém rozlišení a v reálném čase obě boční části vozu na dvou monitorech u řidiče. Mohou tak zobrazit větší plochu, než je tomu u běžných zpětných zrcátek. Řidič tak vidí prostor, který by byl jinak v mrtvém úhlu. Dále mají autobusy s OptiView přibližně o 10 % nižší aerodynamický odpor než vozidla s konvenčními systémy zrcátek (viz Obr. 34). Díky vylepšené aerodynamice tak šetří palivo [96, 131].



Obr. 34: NEOPLAN Cityliner [96]

Výše uvedená značka Scania již také ve svých autobusech **Scania Irizar I6s Efficient** (viz Obr. 35) používá digitální zrcátka. V České republice je pro přepravu osob používá od poloviny roku 2023 společnost Arriva [97].



Obr. 35: Scania Irizar I6s Efficient [97]

Digitální zrcátka v nákladních automobilech a autobusech čelí výzvám spojeným s odolností a spolehlivostí technologií v náročném provozu. S narůstající potřebou efektivity a bezpečnosti v dopravě lze očekávat, že tato technologie bude v budoucnu stále častěji využívána i v těžkých vozidlech.

Digitální zrcátka u zemědělských strojů se začala objevovat přibližně mezi lety 2015 a 2016. Prvním průkopníkem v zavádění této technologie byla společnost **CLAAS**, která představila digitální kamerové systémy nahrazující tradiční zrcátka pro lepší přehlednost a bezpečnost. Další výrobci jako **John Deere** a **Fendt** také začali implementovat digitální zrcátka v rámci svých moderních traktorů a kombajnů, ve snaze zvýšit komfort a bezpečnost řidiče při práci v náročných podmínkách.

Firma **John Deere**, jeden z největších výrobců zemědělských strojů, začíná zavádět technologie kamerových systémů u svých traktorů model **8R 370** (viz Obr. 36) nebo **8R 410** a kombajnů, které zlepšují viditelnost při manévrování s velkými stroji. John Deere používá tzv. **CommandView cab**. Digitální zrcátka mohou pomoci operátorům vidět lépe v různých světelných podmínkách a eliminovat slepé úhly. Vzhledem k rostoucím požadavkům na efektivitu a přesnost práce v zemědělství se implementace kamerových systémů stává klíčovým krokem v přizpůsobování strojů potřebám současného trhu. V rámci této transformace hraje důležitou roli také zpětná vazba od operátorů, která ovlivňuje další vývoj a optimalizaci těchto technologií [98].



Obr. 36: John Deere 8R [98]

Kombajny **Claas Lexion** a traktory **Claas Axion** jsou příklady strojů, které mohou využívat kamerové systémy namísto tradičních zpětných zrcátek. Tyto systémy usnadňují manévrování v těsných prostorech a poskytují lepší výhled při práci. Německá značka **Fendt** nabízí u některých svých traktorů pokročilé asistenční systémy, které zahrnují také kamerové systémy jako náhradu za tradiční zrcátka. Tyto technologie pomáhají zejména při couvání s velkými přívěsy a při přesunech na silnici. Zemědělské stroje **Case IH** také začínají zavádět pokročilé systémy viditelnosti, včetně kamer namísto konvenčních zrcátek, zejména pro své traktory a kombajny. Kamerové systémy zajišťují lepší viditelnost při práci v náročném terénu nebo při manévrování ve stísněných prostorech. **New Holland**, další velký výrobce zemědělské techniky, testuje a zavádí digitální zrcátka

u svých strojů, např. u modelu **New Holland CR10.90 Revelation**. Kamery umožňují operátorům lepší kontrolu nad děním za strojem a zlepšují bezpečnost během práce na poli i na silnici. Jiné prozatím zůstávají ve fázi konceptu jako např. **MF NEXT Concept** (viz Obr. 37) [99].



Obr. 37: MF NEXT Concept [99]

Mezi další stroje patří kombajny **Massey Ferguson IDEAL 9T** či **Claas Jaguar 980**, které využívají digitálních zrcátek pro širší zorné pole při sklizni a vykládání. Traktory **Fendt 1042 Vario** nebo **Fendt 1050 Vario** jsou vybaveny systémem FendtONE, který zahrnuje digitální displeje a digitální zrcátka pro lepší viditelnost při práci. Traktor **Case IH Magnum 400 AFS Connect** využívá digitální zrcátka v rámci systému AFS Connect, který umožňuje monitorování a ovládání strojů pomocí digitálních displejů [100].

Dalšími stroji, u nichž je možné využít systém digitálních zrcátek, jsou zemní a stavební stroje. U těchto strojů fungují zrcátka na podobném principu jako u ostatních vozidel, kdy jsou kamery umístěny na strategických místech vozidla a poskytují řidiči přímý obraz na displejích umístěných v kabině. Specifické funkce digitálních zrcátek v zemních a zemědělských strojích však zahrnují i řadu specializovaných nástrojů a technologií, které usnadňují bezpečný provoz v náročném terénu a náročných podmínkách. Kamery poskytují nejen zlepšený pohled na okolí stroje, ale také sledují pracovní prostor, což pomáhá obsluze sledovat nástroje, pracovní zóny, a dokonce i pohyb zaměstnanců v blízkosti stroje. To výrazně přispívá k bezpečnosti při provozu velkých a často těžkopádných zařízení. Ergonomické rozložení displejů snižuje nutnost řidiče opakovaně se otáčet a sledovat různé oblasti stroje, což snižuje únavu a zvyšuje produktivitu. Stavební a zemědělské stroje často pracují v podmínkách s omezenou viditelností, například v dešti, mlze nebo při práci v noci. Díky infračerveným a tepelným senzorům lze vylepšit viditelnost i ve tmě nebo ve špatných světelných podmínkách.

Snížení počtu mrtvých úhlů a rozšířený výhled kolem stroje jsou hlavní výhody. Bezpečnostní systémy také mohou identifikovat nebezpečí v blízkosti stroje a upozorňovat obsluhu na potenciální kolize, což minimalizuje rizika pro pracovníky a strojní zařízení.

Tím, že digitální zrcátka a displeje umožňují obsluze mít lepší kontrolu nad pracovním prostorem a okolím stroje, dochází k efektivnějšímu provádění úkolů. Ačkoli digitální zrcátka mohou být odolnější než tradiční zrcátka, mohou být také dražší na opravu a údržbu, zejména pokud dojde k poškození kamer nebo displejů. Pokročilé technologie mohou vyžadovat speciální náhradní díly a odborný servis, což zvyšuje náklady na provoz.

Stavební stroje, jako jsou rypadla **Caterpillar Excavators**, již kamerové systémy využívají. Např. **Caterpillar 336 Next Generation** (viz Obr. 38) je vybaven digitálními kamerami, které zlepšují viditelnost při práci v náročných podmínkách. Tyto stroje zahrnují možnost digitálního zobrazení mrtvých úhlů a další vizuální asistenční prvky [101].



Obr. 38: Caterpillar 336 [101]

Mezi další stroje, které využívají digitálních technologií, patří velká pásová rypadla **Komatsu PC390LCi-11**, **Volvo EC950F**, **Hitachi ZX345USLC-6** nebo **Liebherr R 9600**. Všechny výše uvedené modely jsou vybaveny pokročilou technologií pro zvýšení bezpečnosti a efektivity, a to zejména díky digitálním zrcátkům a kamerovým systémům.

2.9.4 Technologická omezení digitálních zrcátek

Klíčovým omezením této technologie je vynucená potřeba akomodace, kdy řidič musí často přeastřovat z pohledu na silnici, prakticky tedy z dalekého bodu (viz 2.4.2) na displeje umístěné uvnitř kabiny. Tento proces vyžaduje zvýšenou aktivitu očních

svalů, což může při dlouhodobé expozici vést k chronické vizuální únavě a potenciálnímu poškození zraku. Z hlediska krátkodobé bezpečnosti může tato zvýšená vizuální náročnost způsobit opožděnou reakční dobu, nesprávnou interpretaci okolního provozu a vyšší pravděpodobnost vzniku nehodových situací, čímž je ohroženo nejen zdraví řidiče, ale i ostatních účastníků silničního provozu.

3 CÍLE PRÁCE A VĚDECKÉ HYPOTÉZY

3.1 Cíle práce

Hlavní cíl disertační práce:

1. Komplexní posouzení použitelnosti technologie digitálních zrcátek ve vozidlech a její vliv na kognitivní funkce řidiče, s ohledem na ergonomii a bezpečnost provozu.

Dílčí cíle disertační práce:

2. Ověření rychlosti a přesnosti při parkování za použití konvenčních a digitálních zrcátek
3. Posouzení rozdílů v míře bezpečnosti při předjíždění za použití konvenčních nebo digitálních zrcátek
4. Posouzení závislosti sociodemografických vstupních parametrů na přijetí technologie digitálních zrcátek.
5. Expertní posouzení použití technologie u nákladních vozů a zemědělské techniky

Dalším cílem je zlepšení znalostní základny v dané oblasti a faktická doporučení na základě experimentálně ověřených dat, která bude možno použít pro další vývoj v oblasti technologie digitálních zrcátek.

3.2 Vědecké hypotézy

K dosažení níže uvedených cílů byly na základě předběžného odborného testování stanoveny následující výzkumné otázky a z nich vyplývající hypotézy.

1. Ovlivňuje použití technologie digitálních zrcátek u vozidel lidské vnímání s ohledem na ergonomii a bezpečnost provozu?

Hypotéza č. 1: Použití digitálních zrcátek zhoršuje ergonomii řízení ve srovnání s konvenčními zrcátky a snižuje míru bezpečnosti ve srovnání s konvenčními zrcátky.

2. Jsou rozdíly v rychlosti a přesnosti parkování za použití digitálních a konvenčních zrcátek?

Hypotéza č. 2: Mezi rychlostí a přesností při parkovacích manévrech za používání konvenčních a digitálních zrcátek bude statisticky významný rozdíl. Použití digitálních zrcátek snižuje rychlost a přesnost při parkování ve srovnání s konvenčními zrcátky.

3. Jsou rozdíly v úrovni bezpečnosti během předjíždění při použití digitálních a konvenčních zrcátek?

Hypotéza č. 3: Použití digitálních zrcátek snižuje úroveň bezpečnosti při předjíždění ve srovnání s konvenčními zrcátky.

4. Existuje závislost mezi sociodemografickými parametry a přístupem řidičů k technologii digitálních zrcátek?

Hypotéza č. 4: Přístup řidičů k technologii digitálních zpětných zrcátek bude ovlivněn jejich sociodemografickými parametry.

4 MATERIÁLY A METODY

K dosažení stanovených cílů bylo nezbytné vybrat vhodnou metodologii, která umožnila efektivní realizaci výzkumu a poskytla relevantní a spolehlivé výsledky pro odpovědi na výzkumné otázky.

Tato disertační práce reflektuje současný stav zkoumané technologie a odkazuje se na poznatky odborníků, kteří se této technologii věnují. Výzkum vychází z ověřování empirických dat, která jsou získána na základě již publikovaných studií a odborných článků. Součástí práce je rovněž popis sběru primárních dat, realizovaného prostřednictvím kombinace kvantitativních a kvalitativních metod sběru a analýzy dat. Nasbíraná data jsou následně vyhodnocena s využitím vhodně zvolených statistických metod. Výsledky, získané statistickým vyhodnocením, spolu se závěry vyplývajícími z odpovědí respondentů získaných prostřednictvím měkkých metod, jsou prezentovány v závěrečné diskusi a v doporučeních této práce.

Disertační práce se zaměřuje na hodnocení akomodace, parkování, předjíždění a dotazníkového šetření. Všechny části výzkumu jsou ověřeny prostřednictvím testování skupiny hodnotitelů, kteří interagují přímo se systémem digitálních zrcátek (kamera-displej) umístěných v testovacím vozidle. Tento přístup umožňuje detailní posouzení vlivu technologie digitálních zrcátek na různé aspekty řízení a manipulace s vozidlem v konkrétních situacích.

Akomodace byla zkoumána v rámci statického testování v laboratorních podmínkách. Dynamické úlohy, jako parkování a předjíždění, byly vyhodnoceny v klinické části výzkumu, která probíhala v exteriéru, na uzavřeném testovacím polygonu. Pro testování těchto dynamických scénářů bylo zvoleno bývalé vojenské letiště Boží Dar, nacházející se nedaleko obce Milovice. Tento prostor poskytuje dostatečně dlouhou a širokou dráhu pro simulaci různých jízdních režimů, včetně kooperace s dalšími vozidly, což umožňuje efektivní testování manévrů souvisejících s parkováním, předjížděním a dalšími relevantními situacemi.

Při klinickém měření a sběru dat v exteriéru nejprve probíhalo seznámení respondentů s danou technologií a metodikou testování. Po vyplnění vstupního dotazníku (sumarizace sociodemografických informací o respondentech) a absolvování instruktáže byly provedeny tři testovací úlohy, tj. podélné a příčné parkování a předjížděcí manévr. Závěrem následovalo výstupní dotazníkové hodnocení ze strany respondentů.

Respondenti byli především osoby se středoškolským a vysokoškolským vzděláním, vystudované v různých oborech, a dále profesionálové z firem zaměřujících se na vývoj a výrobu v automobilovém průmyslu. Předpokládaný, plánovaný počet účastníků činil přibližně 50 osob pro laboratorní měření a 120 pro terénní měření. Tento počet je dle předběžného odhadu dostatečný pro zajištění validního statistického zpracování naměřených dat a zároveň umožňuje provedení měření v požadovaném časovém rámci. Plánovaný počet účastníků se v obou testovacích skupinách podařilo překročit, kdy pro laboratorní měření bylo nakonec získáno 54 respondentů a pro terénní měření dokonce 176. Testování na testovacím polygonu v Milovicích probíhalo během letních měsíců, za jasného počasí a bez negativního vlivu zhoršených povětrnostních podmínek.

Při realizaci experimentu byly využity kvantitativní i kvalitativní testovací metody. Kvantitativní metody se zaměřují na měření přesných hodnot, které umožňují numerické hodnocení daného řešení a poskytují základ pro statistické vyhodnocení. Tyto metody zahrnují zejména časové parametry, jako je rychlost reakce a rychlost řešení konkrétních úloh. Měření těchto parametrů probíhá za použití specializovaných měřicích zařízení, která poskytují objektivní a přesné výsledky.

Obecný postup vyhodnocování spočívá v analýze reakcí respondentů, přičemž se zaměřuje na manifestace polohové paměti, zvykové přesuny pozornosti na známé vizuální body a další relevantní behaviorální projevy, které jsou zaznamenány z videozáznamů pořízených během testovacích jízd. Klíčovým zaměřením je sledování a vyhodnocení pohybu očí při interakci s objekty zobrazenými v prostoru zpětných zrcátek. Kvalitativní metody jsou zaměřeny na subjektivní hodnocení pocitů a podvědomých reakcí testovaných respondentů, přičemž tato data jsou následně zpracována a analyzována. Dalším významným zdrojem dat pro měkké metody jsou dotazníky, v nichž respondenti poskytují odpovědi na specifické otázky týkající se testovaného zařízení a jeho používání.

4.1 Akomodace

Pro tuto část výzkumu byla vybrána skupina 54 dobrovolníků, u nichž byla shromážděna základní sociodemografická data, konkrétně věk, pohlaví, výška a zkušenosti s digitálními zrcátky. Věk účastníků se pohyboval v rozmezí od 20 do 59 let. Podmínkou účasti ve výzkumu bylo, že respondent při řízení nepoužívá brýle, což bylo nezbytné pro aplikaci použité měřicí techniky, spočívající v používání speciálních brýlí pro sledování pohybů lidského oka. Tato podmínka nevyplývá z předpokladu o přítomnosti zrakového defektu, ale z technických požadavků měření, kdy zpravidla nelze umístit trackovací brýle na brýle dioptrické. Testovaný vzorek tvořili převážně univerzitní pedagogové, zaměstnanci a studenti a dále zaměstnanci firem zabývajících se vývojem v automobilovém průmyslu. Ačkoliv všichni účastníci negovali jakékoliv zrakové vady a subjektivně považovali stav svého zraku za bezvadný, bylo nutné, v případě tohoto měření, zjistit, jaký je skutečný zdravotní stav respondentů.

V rámci metodiky zkoumání akomodace bylo u každého respondenta provedeno kontrolní vyšetření zrakové ostrosti za účelem zhodnocení vizuální zátěže při používání digitálních zrcátek. Pacienti podstoupili optometristické vyšetření zrakových funkcí, a to za podmínek stanovených ČSN EN ISO 8596 (195002) [106]. Hodnocena byla subjektivní zraková ostrost do dálky (pomocí projekčního optotypu Essilor CE 60) [140], do blízka (čtecí test do blízka Hoya) [141] a to monokulárně i binokulárně. K posouzení akomodační schopnosti byla použita metoda měření akomodační amplitudy pomocí stanovení blízkého a dalekého bodu akomodace.

Uvedená metodika a následné závěry byly konzultovány s odborníky v oblasti optometrie a očního lékařství. Použité metody zahrnovaly také použití fotometru, který umožnil kvantifikaci adaptace na různé úrovně osvětlení, a hodnocení kontrastní citlivosti za specifických světelných podmínek. Výsledky těchto měření poskytly detailní údaje o tom, jak akomodační nároky ovlivňují zrakové vnímání během používání digitálních zrcátek. Tato data jsou klíčová pro pochopení potenciálních zdravotních rizik a ergonomických dopadů technologie.

4.1.1 Umístění

První část hodnocení akomodace probíhala v uzavřené hale v areálu Technické fakulty ČZU, která byla vybrána z důvodu dostatečné volné plochy pro měření a zajištění stálých světelných podmínek po celou dobu testování. Tato lokalita umožnila eliminaci vlivů externích faktorů, jako je počasí či denní doba, a zajistila jednotné podmínky pro všechny měřené úkoly.

4.1.2 Popis zařízení

Jako primární nástroj pro sběr vizuálních a audiovizuálních záznamů během měření byly použity speciální trakovací brýle Tobii Pro Glasses 2 (viz Obr. 39) [102]. Tyto brýle představují pokročilé zařízení pro sledování pohybu očí, které umožňuje zaznamenávat a analyzovat vizuální chování respondenta v reálném čase. Pro analýzu získaných dat byl využit software Tobii Pro Glasses Analyzer a video editor „Shotcut“ (open-source, multiplatformní). Tento nástroj se široce využívá v oblasti výzkumu a uživatelského testování, kde je nezbytné získat detailní informace o tom, jak respondenti vnímají a reagují na různé podněty v jejich okolí.



Obr. 39: Tobii Pro Glasses 2 [102]

Testování probíhalo ve dvou stacionárně umístěných vozech Škoda Superb III. Jedno vozidlo bylo upraveno odstraněním bočních zrcátek, která byla nahrazena kamerovými systémy a displeji (viz Obr. 40), zatímco druhé vozidlo zůstalo bez jakýchkoli úprav (viz Obr. 41). Displeje byly umístěny na předních bočních sklech vozidla tak, aby odpovídaly pozici běžných zpětných zrcátek. Připojení sensorového a zobrazovacího zařízení bylo zajištěno pomocí kabelového spojení. Umístění displejů bylo navrženo tak, aby odpovídalo konvenčním osám pohledu zrcátek, tedy z vnitřní strany na předních bočních oknech. Polohy a úhly digitálních displejů byly pevně nastaveny a účastníci neměli možnost je měnit. Displeje byly umístěny v pravém úhlu

vzhledem k ose pohledu řidiče na střed jejich plochy. Přiblížení kamer bylo nastaveno tak, aby velikost písmen na displeji odpovídala velikosti písmen odrážejících se v běžných zrcátkách.



Obr. 40: Interiér vozu Škoda Superb III s digitálními zrcátky [vlastní]

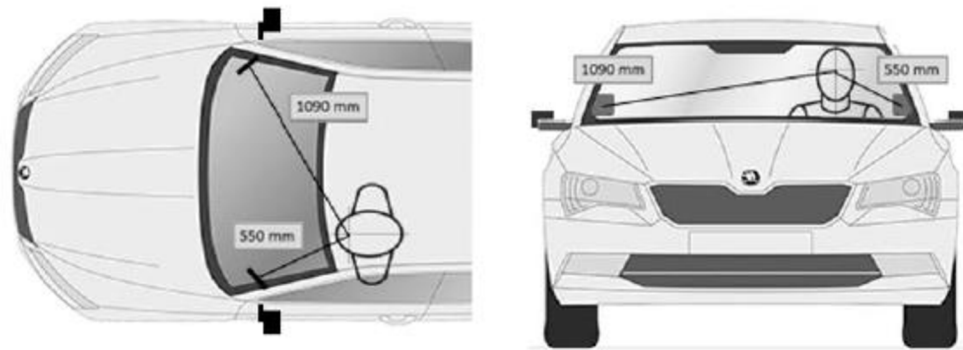
Pro zachycení obrazu byly použity kamery Sony CyberShot Camera DSC-RX0 Mark II (viz Obr. 50) [103], které poskytují vysokou kvalitu záznamu v kompaktním formátu. Pro zobrazení obrazu byl využit monitor FeelWorld FW570 (viz Obr. 50) [104], který umožňuje dostatečně přesnou reprodukci obrazu ve vysokém rozlišení. Promítaný obraz na displeji byl zrcadlově převrácen, čímž byl zajištěn soulad s realitou, tedy s obrazem, který by byl vidět v konvenčních zpětných zrcátkách. Tato úprava byla nezbytná pro dosažení realistického zobrazení a odpovídajícího vizuálního vjemu pro účastníky testování.



Obr. 41: Interiér vozu Škoda Superb III s konvenčními zrcátky [vlastní]

Vzdálenost mezi hlavou a pravým displejem činila 1 090 mm, zatímco vzdálenost mezi hlavou a levým displejem byla 550 mm, měřeno od středu hlavy 50percentilní

figuríny dospělého muže (viz Obr. 42). Tato figurína byla použita jako reprezentativní model pro optimální polohu sezení v automobilu, podle normy SAE J826 (2008) [105], která definuje parametry pro testování ergonomie a bezpečnosti sezení v motorových vozidlech.



Obr. 42: Umístění displejů (vlevo – pohled shora, vpravo – přední pohled) [vlastní]

Na obrázku 43 je znázorněn signalizační světelný zdroj, který sloužil jako fixační bod pro vizuální zaměření účastníků experimentu. Tento světelný zdroj byl instalován na stojanu ve výšce 1,3 m nad zemí, což odpovídá standardním ergonomickým parametrům pro zajištění přirozené úrovně pohledu testovaných osob. Tato výška umožnila účastníkům pohodlně zaměřit svůj zrak na signalizaci bez nutnosti výrazné změny polohy hlavy nebo tělesného postoje, čímž byla eliminována možnost vlivu na výsledky experimentu. Ovládání zařízení bylo realizováno prostřednictvím přepínače, který byl umístěn mimo zorné pole účastníků. Tento přepínač byl strategicky umístěn tak, aby neovlivňoval jejich koncentraci nebo vizuální pozornost, což by mohlo narušit přesnost výsledků. Celková konfigurace těchto prvků byla navržena s cílem minimalizovat možné interference s experimentálními podmínkami, čímž bylo dosaženo maximální vědecké objektivnosti a reprodukovatelnosti výsledků experimentu.



Obr. 43: Signalizační světelný zdroj [vlastní]

Pro umístění písmen byla využita mobilní oboustranná magnetická tabule o rozměrech 100 x 80 cm (viz Obr. 44). Tabule byla vybavena otočným mechanismem, který umožňoval manipulaci s písmeny tak, aby sestavené slovo zůstalo mimo zorné pole řidiče po celou dobu přípravy experimentu. Otočná funkce tabule byla klíčová pro zajištění kontrolovaných podmínek vizuálního vjemu a eliminaci nežádoucích vlivů na pozornost účastníků. Jakmile účastník upřel svůj pohled na červené světlo, tabule byla otočena do viditelné polohy, což umožnilo okamžitou prezentaci sestaveného slova bez předchozího vizuálního podnětu. Postup byl navržen tak, aby byly zajištěny konzistentní podmínky pro měření reakčních časů a kognitivního zpracování podnětu, čímž se minimalizovaly vlivy na výkon účastníků.



Obr. 44: Mobilní tabule [vlastní]

Písmena byla vytištěna na papír formátu A4, přičemž velikost, font a počet písmen byly v souladu s normou **ISO 8596:2017** [106], která stanovuje požadavky pro vizuální testy zrakové ostrosti. Konkrétně byl použit font Sloan o velikosti 625 pt, který je běžně využíván při testování čitelnosti znaků a zajišťuje standardizované podmínky pro hodnocení vizuálního výkonu. Písmena byla záměrně zrcadlově převrácena a skládána zprava doleva, aby byla při pohledu do zrcátka správně čitelná zleva doprava (viz Obr. 45). Tento postup umožnil simulaci reálných podmínek, kdy řidič sleduje odraz textu ve zpětném zrcátku, a zajistil přesnou analýzu vlivu zrcadlového zobrazení na vnímání a čitelnost textu v experimentálních podmínkách.



Obr. 45: Ukázka složeného slova na tabuli [vlastní]

Pro účely experimentálního měření byl sestaven seznam přibližně 500 slov, který sloužil jako základní soubor pro náhodný výběr testovacích podnětů. Tento seznam zahrnoval slova v češtině a angličtině, čímž byla zajištěna jazyková flexibilita pro účastníky s různými jazykovými preferencemi. Výběr slov byl pečlivě proveden s cílem zahrnout běžně používané, pětipísmenné výrazy, což zajistilo jejich sémantickou dostupnost a usnadnilo účastníkům jejich rozpoznání a porozumění. Aby bylo zajištěno rovnoměrné osvětlení písmen na tabuli, byly k tomuto účelu využity dva reflektory VECT DSR-4x55WT, což jsou studiová trubcová svítidla vyrobená z čistého hliníku (viz Obr. 46). Tato technická volba byla učiněna s cílem eliminovat vliv nerovnoměrného osvětlení na vizuální vnímání a zajistit konzistentní podmínky pro experimentální měření.



Obr. 46: Reflektor VECT DSR-4x55WT [107]

Tyto reflektory byly vybrány pro svou vysokou účinnost a schopnost poskytovat stabilní a homogenní světelné podmínky, což bylo zásadní pro eliminaci stínů a nerovnoměrného osvětlení na povrchu tabule během experimentu. Díky jejich technickým parametrům bylo možné zajistit optimální osvětlení, které podporovalo přesnou vizuální percepci testovaných podnětů účastníky experimentu. Použití těchto reflektorů významně přispělo ke standardizaci experimentálních podmínek, čímž se minimalizovalo riziko ovlivnění výsledků v důsledku nedostatečného nebo nekonzistentního osvětlení. Tato opatření byla klíčová pro dosažení vědecké objektivity a zajištění reprodukovatelnosti experimentálních podmínek. Parametry všech výše uvedených zařízení jsou podrobně popsány v tabulce 2.

Tabulka 2: Popis a specifikace přístrojů

Vybavení	Popis	Specifikace
Displej	Velikost obrazovky	5,7" / 14,5 cm
FeelWorld F570	Rozlišení	1920 x 1080 str. (16:9)
	Jas	460 cd/m ² (LED)
	Rozměr	(5,8x 3,2 x 0,7) palců / (14,8 x 8,2 x 1,9) cm
Kamera	Rozlišení	4800 x 3200 p (3:2)
Sony DSC-RX0 II	Typ senzoru	BSI – CMOS
	Procesor	BIONZ X
	Ohnisková vzdálenost	24 mm
	Max. clona	F4
	Normální rozsah ostření	20 cm / 7,87 palců
Reflektor	Napájení	230 V, 50 Hz
VECT DSR-4x55WT	Teplota barev	3 200 K, 5 400 K
Eye tracker	Počet kamer	4
Tobii Pro Glasses 2	Rozlišení	1 920 x 1 080 pixelů, 25 fps
	Vzorkovací frekvence	50 nebo 100 Hz
	Výdrž baterie	120 minut
	Váha	312 g
	Senzory	Gyroskop a akcelerometr

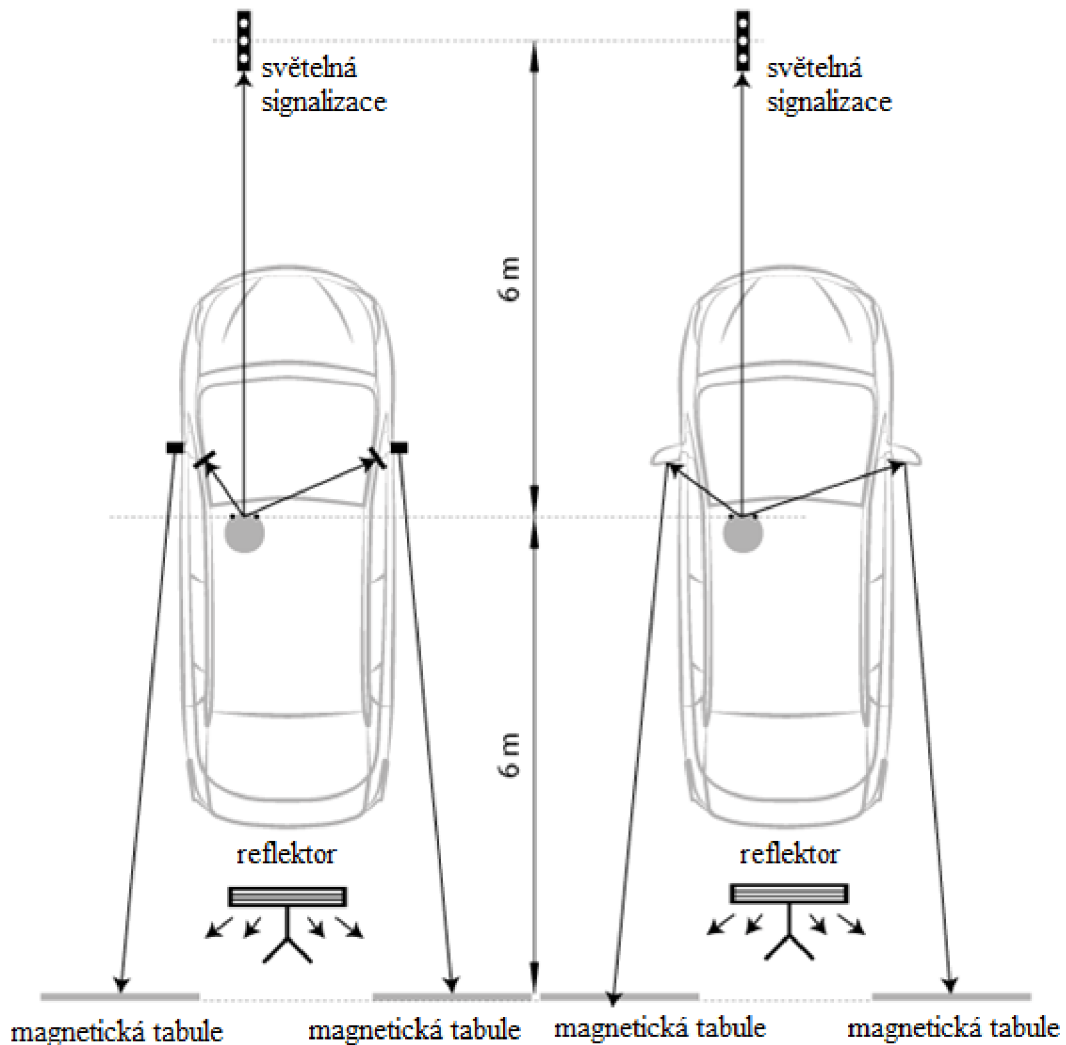
4.1.3 Metodika měření

Konkrétní metodika měření akomodace a schéma experimentu byla navržena autorem této práce na základě analýzy předchozích výzkumů, konzultací s odborníky v oblasti ergonomie, testování různých metod měření akomodace v laboratorních podmínkách a vlastních experimentálních zkušeností autora. Každý účastník nejprve vyplnil úvodní dotazník, v němž uvedl své sociodemografické údaje. Následně účastníci podstoupili optometristické vyšetření, během něhož byla stanovena jejich zraková ostrost a diagnostikována případná zraková vada. Účastníci si následně nasadili trackovací brýle Tobii Pro Glasses 2, které byly zkalibrovány, aby bylo možné přesně monitorovat jejich zrakové pohyby. Pro zajištění kontrolovaných podmínek bylo stanoveno pravidlo, že vždy dojde k výměně vozidla, tedy pokud první účastník zahájil test v automobilu s konvenčními zrcátky, druhý účastník začal test v automobilu vybaveném digitálními zrcátky. Po usazení do vozidla si každý účastník upravil polohu sedadla a pozici zrcátek tak, aby měl optimální výhled na tabuli s textem. Tento postup byl navržen s cílem zajistit standardizované a reprodukovatelné experimentální podmínky pro měření akomodace.

Jakmile účastník vyjádřil spokojenost s polohou sedadla ve vozidle, na opačné (pro něj neviditelné) straně tabule bylo připraveno slovo. Jakmile bylo slovo sestaveno a připraveno k zobrazení, účastník obdržel pokyn, že test může začít. Před zahájením testu se na signalizačním zařízení rozsvítila červená kontrolka, na kterou se účastník měl zaměřit pohledem. Světelný signál byl zapnut alespoň na dobu 4 s, aby se oči respondenta dostaly do zcela relaxovaného stavu v důsledku zaostření na signalizační zařízení. Během tohoto intervalu byla tabule otočena asistentem, aby se na ní objevilo konkrétní předem vybrané slovo, aniž by byl účastník na tuto změnu upozorněn. Po zaostření na červený světelný zdroj, který signalizoval připravenost pro zahájení testu, se světelný signál změnil na zelený. Jakmile se změnila barva na zelenou, účastník se podíval nejprve do levého zrcátka nebo displeje a co nejrychleji nahlas přečetl slovo, které bylo zobrazeno na tabuli za vozidlem. Tento postup, zahrnující přeostržení na světelný zdroj (červená, následně zelená), byl následně zopakován i pro pravé zrcátko nebo displej. Po každém pokusu bylo vybráno nové slovo. Test byl opakován dvakrát s různým slovem pro každé boční zrcátko či displej, čímž bylo zajištěno opakování testovacích podmínek pro obě strany a maximální objektivita výsledků.

Schéma experimentu je detailně znázorněno na obrázku 47. Světelná signalizace, sloužící jako fixační bod pro vizuální pozornost účastníků, byla umístěna ve vzdálenosti

6 m od zadní části bočního zrcátka vozidla. Toto umístění zajistilo, že světelný signál byl v přímé linii s osou vozidla a snadno viditelný pro řidiče, což přispělo k standardizaci testovacího prostředí a zajištění konzistentních podmínek pro všechny účastníky. Mobilní magnetická tabule, na kterou byla umístěna slova, stála rovněž ve vzdálenosti 6 m od odrazné plochy bočního zrcátka, čímž byla zajištěna stabilní a reprodukovatelná vzdálenost mezi zdrojem textu a zrcátkem, což bylo klíčové pro testování vizuálního vnímání.



Obr. 47: Schéma situace laboratorního testování akomodace [vlastní]

Pro zajištění optimálních vizuálních podmínek byla tabule nasvícena dvěma reflektory, které byly strategicky umístěny těsně za tažným zařízením vozidla. Tato konfigurace osvětlení byla pečlivě navržena tak, aby eliminovala vznik nežádoucích stínů a zajistila rovnoměrné osvětlení celé plochy tabule. Tímto způsobem byly vytvořeny

ideální podmínky pro zajištění přesného vizuálního vnímání zobrazovaných písmen v zrcátku a pro minimalizaci jakýchkoli vizuálních rušivých faktorů, které by mohly ovlivnit výsledky experimentu.

V současnosti (2024) neexistuje přímý ekvivalent pro tento typ laboratorního experimentu. Popisovaná metodika měření akomodace je originální a vychází z předchozích studií a experimentálních zkušeností autora. Podobným, avšak nikoliv identickým přístupem se zabývali autoři Lockhart, T. E. a Shi, W. ve své studii *Effects of age on dynamic accommodation* [108], kde byla použita digitální obrazovka místo zde zvolené otočné tabule. Tento model, využívající kombinaci kamerového systému a monitoru, se zaměřuje na simulaci podmínek zobrazení v automobilovém prostředí. Řešení použité v této studii [108] však není ideální vzhledem k duplicitě zobrazovacích zařízení (digitální displeje a monitory zobrazující slovo). Při použití tohoto modelu může docházet k rušivým jevům, jako je problikávání, způsobeným synchronizací frekvence obrazu na monitoru a snímání kamerou, což může negativně ovlivnit přesnost a konzistenci vizuálních podnětů, což ostatně přiznávají i autoři této studie. Tento aspekt není v předchozích studiích dostatečně řešen a představuje potenciální omezení pro měření akomodace ve specifických podmínkách vozidlového prostředí.

Vzhledem k těmto specifikům a výše uvedeným problémům není v současné době k dispozici jednotná metodika pro měření akomodace v podobných experimentech, což podtrhuje originalitu a přínos předkládaného výzkumu.

4.2 Parkování

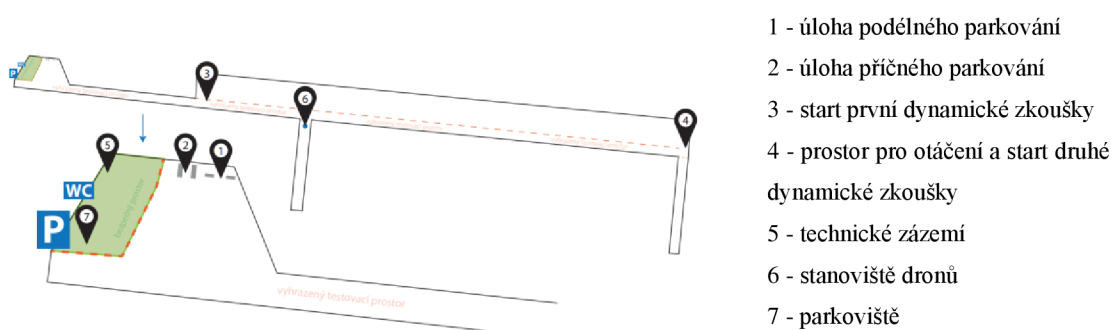
Do terénního výzkumu bylo zapojeno celkem 176 testovacích řidičů, ale pro účely této testovací úlohy byla použita pouze data od 91 účastníků. Zúžení vzorku bylo nezbytné, aby byla zahrnuta pouze data, která splňovala kritéria platnosti a přesnosti, protože u některých účastníků nebyla všechna potřebná data v průběhu testování získána kvůli specifické náročnosti experimentálních podmínek. Skupina účastníků tohoto výzkumu byla odlišná od té, která se účastnila předchozího experimentu zaměřeného na měření akomodace, přičemž obě studie byly provedeny jako samostatné experimenty se dvěma nezávislými měřeními. Do finálního vzorku této úlohy také nebyli zahrnuti respondenti, kteří používali dioptrické brýle a to proto, že nebylo možné použít zároveň dioptrické a trackovací brýle při zachování přesnosti měření.

Pro statistické analýzy byla od účastníků sbírána data o sociodemografických parametrech, včetně věku, pohlaví a předchozích řídičských zkušenostech. Věkový rozsah účastníků se pohyboval od 21 do 54 let. Všichni účastníci byli držiteli platného řídičského oprávnění skupiny B (pro osobní vozidla), měli mít zdravý zrak a schopnost orientace, a netrpěli žádnými muskuloskeletálními problémy nebo jinými zdravotními komplikacemi, které by mohly ovlivnit jejich schopnost kontrolovat vozidlo, zejména při parkovacích manévrech.

Účastníci byli následně rozděleni do dvou skupin: 60 účastníků pravidelně používajících dioptrické brýle a 116 účastníků, kteří brýle nenosili. Vstupní dotazník (viz příloha A), který byl součástí úvodní fáze studie, také zajišťoval, že žádný z účastníků neměl předchozí zkušenost s technologiemi digitálních zrcátek. Tato selekce pomohla zajistit, že výsledky studie nebudou ovlivněny předchozími zkušenostmi s těmito specifickými technologiemi.

4.2.1 Umístění

Pro účely terénního testování byl vybrán uzavřený testovací polygon v Milovicích (viz Obr. 48), který díky své specifické infrastruktuře umožňuje simulaci různých provozních scénářů a podmínek, včetně extrémních situací, jež by bylo obtížné reprodukovat na veřejných komunikacích. Tento polygon poskytuje dostatečně rozsáhlý a kontrolovaný prostor, který umožňuje provozování nehomologovaných vozidel bez omezení, což je klíčové pro testování inovativních technologií a systémů, které dosud neprošly schvalovacím procesem pro použití v běžném silničním provozu.



Obr. 48: Schéma testovací plochy [vlastní]

4.2.2 Popis zařízení

Všechny úkoly, během nichž byla sbírána data pro ověření přesnosti a bezpečnosti parkovacích manévrů, byly prováděny za použití reálných vozidel, která byla umístěna na pečlivě určených a konstantních pozicích během celé doby měření (viz Obr. 49). Umístění vozidel bylo voleno na základě standardizovaných parkovacích míst, jak je specifikováno v normě **ČSN 73 6056** z roku 2011 [109], která definuje požadavky na velikost a uspořádání parkovacích stání. Pro zajištění plynulosti experimentu a správné koordinace úkolů byl každý doprovodný řidič nebo spolujezdec (kvalifikovaný výzkumný asistent) vybaven rádiovým zařízením pro nepřetržitou komunikaci a koordinaci během provádění parkovacích manévrů.



Obr. 49: Reálné makety vozidel byly použity k vymezení parkovacích míst [vlastní]

Pro účely testování byly použity dva vozy Škoda Superb III. Jeden z těchto vozů (označený jako vůz A) byl upraven odstraněním obou konvenčních bočních zrcátek a jejich nahrazením systémem digitálních bočních zrcátek na obou stranách vozidla. Druhý vůz (označený jako vůz B) zůstal v původním stavu s konvenčními zpětnými zrcátky. Pro záznam obrazu byly použity kamery Sony CyberShot DSC-RX0 Mark II [103], přičemž obraz byl následně promítán na monitory FeelWorld FW570 [104]. Podrobné technické parametry obou zařízení jsou uvedeny v tabulce 2.

Výběr kamery pro experimentální použití byl založen na její ohniskové vzdálenosti, která je podobná lidskému oku, což umožnilo reálné zobrazení scény v zrcátkách. Profesionální monitor byl vybrán kvůli vysokému rozlišení, které minimalizovalo pixelaci a umožnilo kvalitní zobrazení obrazu. Snímání a zobrazení obrazu bylo propojeno speciálním kabelem, který zajistil stabilní a kvalitní přenos dat mezi kamerou a monitorem.

Umístění displejů bylo navrženo tak, aby odpovídalo úhlovému nastavení konvenčních zpětných zrcátek, čímž bylo dosaženo kompatibility s běžnou konfigurací vozidla. Pro zajištění správného umístění konvenčních bočních zrcátek byly dodrženy standardy uvedené v normě **FMVSS 111** (Federal Motor Vehicle Safety Standard) [60], kterou vydalo NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) [110], v normě **ECE R46** [59] a také v normě **ISO 16505** [111]. Na základě této normy byla pozice H-pointu (referenčního bodu sedadla) použita k definování optimálních vzdáleností a úhlů, přičemž vzdálenost k pravému displeji byla stanovena na 1090 mm a k levému displeji na 550 mm, měřeno od středu hlavy řidiče v 50. percentile (dospělý evropský muž) v souladu s normou **SAE J826** [105].

Pozice a úhly displejů byly uzamčeny, což zabránilo jakékoli úpravě jejich nastavení ze strany řidiče. Displeje byly umístěny pod úhlem, který zajišťoval zobrazení obrazu odpovídající linii vidění řidiče. Celý systém, simulující komerční digitální zrcátka, měl zpoždění obrazu přibližně 0,3 s, což je konkurenceschopné ve srovnání s technologiemi používanými v sériově vyráběných vozidlech.



Obr. 50: Škoda Superb III s digitálními zrcátky [vlastní]

4.2.3 Metodika měření

Měřené veličiny:

- celkový čas potřebný k zaparkování – t (s) - od rozjetí vozidla do zastavení vozidla, kdy respondent zvedl ruce z volantu
- boční pozice vozidla, měřená na čtyřech místech na úrovni osy kol – x (cm)
- vzdálenost od zadní překážky – x (cm)
- další data byla zjištěna za pomoci trackovacích brýlí

Subjektivní dojmy účastníka byly zjištěny z výstupního dotazníku (**viz příloha B**), který byl vyplněn ihned po testu.

Parkovací úloha byla rozdělena do dvou základních scénářů, které odpovídají nejčastějším typům parkovacích manévřů v praxi: manévr podélného parkování (viz Obr. 51) a manévr kolmého parkování (viz Obr. 52). Účastníci se střídavě zapojovali do parkovacích úkolů v obou testovacích vozidlech, čímž bylo zajištěno porovnání výsledků a dat pro následnou statistickou analýzu. Každý účastník začal test střídavě v jednom nebo druhém vozidle, což mělo za cíl eliminovat možné zkreslení dat způsobené předchozími zkušenostmi a zajistit, aby výsledky nebyly ovlivněny preferencemi týkajícími se konkrétní technologie (digitální versus konvenční zrcátka). Tento experiment byl navržen s ohledem na minimalizaci systémové chyby a zajištění validity výsledků.

Postup měření:

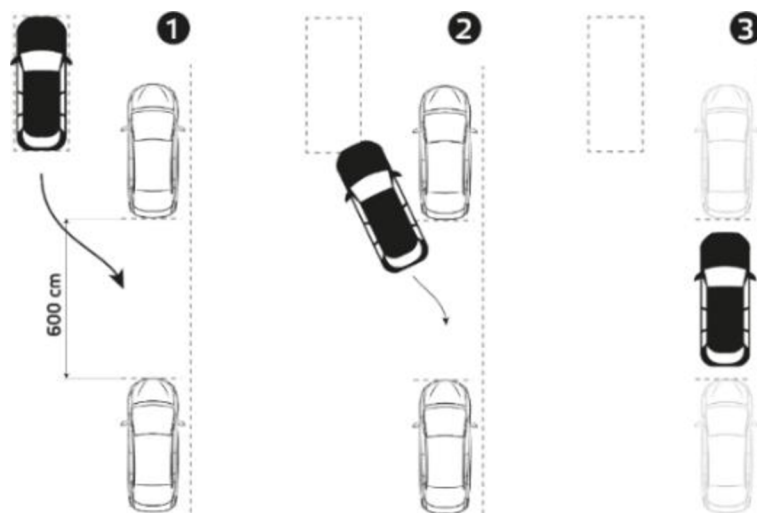
1. Na začátku testování je testovací vozidlo umístěno do výchozí pozice s maximální přesností, přičemž tento úkon provádí výzkumný asistent. Výchozí pozice vozidla a parkovací místo budou na podlaze označena značkovací barvou s nízkou trvanlivostí, která je běžně používána pro označování pozic vozidel při nehodách. Účastník studie se následně posadí do vozidla a zaujme subjektivně optimální pozici. Tato pozice zahrnuje nastavení sedadla, volantu a vnitřního zpětného zrcátka, popřípadě také zpětných zrcátek u vozidla, které je součástí testu. Účastník vyčkává pokynů od asistenta, přičemž testovací osoba bude ve vozidle sedět sama. Po obdržení pokynu od asistenta zahájí účastník parkovací manévr, který zahrnuje couvání při kolmém parkování z výchozí pozice. Současně asistent aktivuje zařízení pro záznam času. Vozidlo bude umístěno tak, aby účastník mohl sám zvolit způsob najetí do parkovací pozice, odkud začne provádět parkovací manévr. Počáteční pozice vozidla a parkovací místo budou označena značkovací barvou s nízkou trvanlivostí, která je běžně používána pro značení pozic vozidel při nehodách. Výchozí pozice musí být jednoznačně definována vzhledem k cílovému parkovacímu místu.

2. Testovací osoba provádí parkovací manévr samostatně, bez zásahů asistenta do průběhu parkování. Alternativně může být trajektorie pohybu vozidla zaznamenávána na video, což by umožnilo následnou analýzu, například stanovení počtu korekcí při parkování. Asistent monitoruje parkovací proces z pozice, která neomezuje výhled testovací osoby z vozidla a neovlivňuje samotný průběh testu. Intervence asistenta

je přípustná pouze v případě bezprostředního nebezpečí kolize nebo poškození vozidel, kdy je nutné zajistit bezpečnost testovacího prostředí.

3. Po dokončení parkovacího manévru signalizuje testovací osoba jeho ukončení zdvižením rukou nad volantem, což je pokyn pro asistenta k zaznamenání času. Testovací osoba následně opustí vozidlo, vyplní výstupní dotazník, a poté přejde na další testovací stanoviště. Asistent zároveň zaznamená finální polohu vozidla do příslušné tabulky. Po zápisu všech dat usedne asistent do vozidla a přesune ho zpět do výchozí pozice, která je jednoznačně vymezena pomocí překážky v podobě papírové krabice. Po přípravě vozidla může následovat další testovací sekvence s dalším účastníkem.

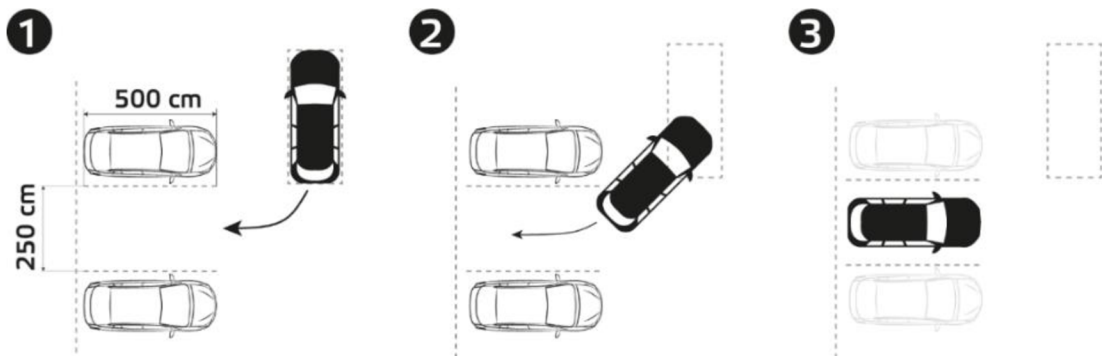
Obě parkovací úlohy byly precizně dokumentovány za pomoci palubních kamer a trackovacích brýlí, což umožnilo detailní měření doby potřebné k provedení jednotlivých manévru a následně umožnilo provést podrobné statistické analýzy. Výzkumný asistent zajišťoval měření vzdálenosti mezi testovacím vozidlem a okolními zaparkovanými vozy, stejně jako vzdálenost od testovaného vozidla k obrubníku. K měření byla použita měřicí pásma s přesností $\pm 0,5$ cm, což zaručuje vysokou míru přesnosti a spolehlivosti získaných dat.



Obr. 51: Schématické znázornění kroků úkolu podélného parkování [vlastní]

Takto systematický a precizní přístup k metodologii je zásadní pro zajištění validity výsledků a umožňuje detailní sledování vlivu různých faktorů na výkonnost při parkovacích manévrech. Tento přístup významně přispívá k hlubšímu pochopení procesů, které probíhají během manévrování vozidla v omezených prostorách. Získaná

data lze tímto způsobem efektivně analyzovat a interpretovat, což napomáhá formulaci závěrů o použitelnosti a ergonomických aspektech navrhované technologie.

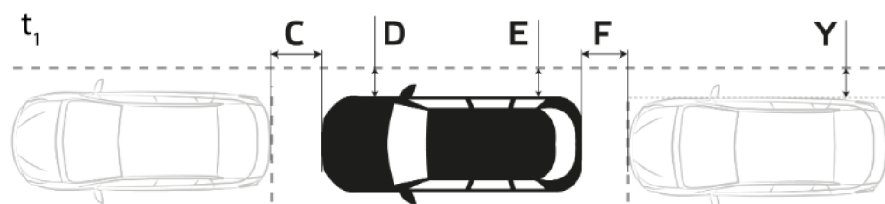


Obr. 52: Schématické znázornění kroků úkolu kolmého parkování [vlastní]

Optimální pozice zaparkovaných vozidel, které sloužily jako měřítka pro hodnocení každého úkolu, byly stanoveny na základě následujících postulátů:

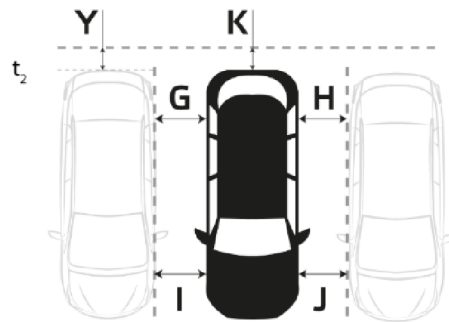
- V případě podélného parkování je nejpřesnější podmínka, pokud se C rovná F a zároveň se D rovná E (viz Obr. 53).
- Optimální vzdálenost (Y) od "chodníku", tj. hodnoty D a E , je 35 cm pro podélné parkování (viz Obr. 53).
- V případě kolmého parkování je nejpřesnější podmínka, pokud se G rovná H a zároveň se I rovná J (viz Obr. 54).
- Optimální vzdálenost od "chodníku" pro kolmou parkovací pozici (K) je 30 cm (viz Obr. 54).

Hodnota t_1 reprezentuje čas potřebný k dokončení celého manévru podélného parkování; C a F představují vzdálenost mezi testovacím vozidlem a ostatními zaparkovanými vozidly po dokončení parkovacího manévru; D a E představují vzdálenost mezi zaparkovaným testovacím vozidlem a obrubníkem (viz Obr. 53).



Obr. 53: Stanovení parametrů pro hodnocení testu podélného parkování [vlastní]

Na obrázku 54 reprezentuje t_2 čas, který účastník potřeboval k dokončení celého úkolu kolmému parkování ve finální popsané pozici; G a H představují vzdálenost mezi testovacím vozidlem a ostatními zaparkovanými vozidly v ose zadních kol; I a J představují vzdálenost mezi vozidlem a ostatními vozidly v ose předních kol po dokončení parkovacího manévru; K představuje vzdálenost mezi zaparkovaným testovacím vozem a obrubníkem.



Obr. 54: Stanovení parametrů pro hodnocení testu kolmému parkování [vlastní]

Pro porovnání obou technologií byly stanoveny dva klíčové parametry: rychlost a přesnost provedení parkovacích manévru. Rychlost manévru je jednoznačně definována a měřena jako časový interval mezi zahájením a ukončením parkovacího manévru. Oproti tomu hodnocení přesnosti parkovacích manévru je komplexnější, vyžaduje důkladnou analýzu a zahrnuje různé faktory.

Pohled řidiče z kabiny vozidla je znázorněn na obrázku 55. Během plnění testovacích úkolů účastníci používali trackovací brýle Tobii Glasses 2, které umožňovaly sledování pohybů očí a poskytovaly detailní data o pozornosti a pohledu řidičů při parkování [102].



Obr. 55 Pohled z perspektivy řidiče na displej při jednom z parkovacích úkolů [vlastní]

4.3 Předjíždění

Úlohy předjíždění se zúčastnila stejná skupina 176 respondentů jako při parkovacích úlohách. Data pro analýzu úlohy předjíždění byla nakonec zpracována pouze od 76 účastníků. Vzhledem k dynamické povaze této testovací úlohy docházelo u některých měření k nepřesnostem v měření nebo v samotném procesu testovací úlohy. Data z těchto měření tak nemohla být započítána.

V průběhu měření se objevilo několik výzev, které ovlivnily přesnost a spolehlivost získaných dat. Hlavním problémem byla chybovost měření, která vznikala vlivem různých faktorů, jako jsou technické komplikace s měřicími zařízeními, zejména pak s dronem, neočekávané změny podmínek během testování nebo nesprávné provedení úkolů ze strany některých účastníků. Nepřesnosti byly dále ovlivněny rušivými vlivy prostředí, které nebylo možné zcela eliminovat. V důsledku toho u některých účastníků došlo ke ztrátě dat nebo k zaznamenání neúplných měření, což vedlo k jejich následnému vyloučení z analýzy, aby byla zachována objektivita a validita výzkumu.

Přestože byla věnována maximální snaha minimalizaci chyb a zajištění co nejvyšší kvality naměřených údajů, některé technické a metodologické limity nelze zcela eliminovat.

4.3.1 Umístění

Pro úlohu předjíždění, stejně jako pro úlohu parkování, bylo zvoleno bývalé vojenské letiště Boží Dar, nacházející se nedaleko obce Milovice. Tento prostor byl vybrán díky své dostatečné délce, která umožnila věrohodnou simulaci reálných jízdních scénářů s testovacím vozidlem za účasti dalších vozidel. Dráha letiště měří přibližně 2500 m, což poskytuje optimální podmínky pro simulaci skutečných městských a dálnicových jízdních situací s rychlostí jízdy kolem $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Tato délka dráhy umožňuje důkladné testování různých jízdních manévřů, včetně předjíždění, při zachování bezpečnosti a přesnosti měření.

4.3.2 Popis zařízení

Měřicí zařízení a testovací pomůcky použité pro úlohu předjíždění byly identické s těmi, které byly využity při parkovacích manévřech (viz předchozí kapitola). K simulaci reálných jízdních scénářů byla zapojena doprovodná vozidla, konkrétně dvě sériově vyráběná vozidla: Škoda Superb III sedan (v bílé barvě) a Škoda Octavia III combi

(rovněž v bílé barvě). Tato vozidla sloužila k vytvoření realistických podmínek, které umožnily testovat dynamické aspekty jízdních manévrů v různých situacích, přičemž zachovávaly konzistentní a opakovatelné podmínky pro analýzu nasbíraných dat.

Oproti parkovacím úlohám byly ale tyto dynamické úlohy snímány za pomoci profesionálního dronu DJI Mavic 3 Pro [133], který každý předjížděcí manévr zaznamenal jako samostatný video soubor, který byl následně vyhodnocen za použití grafických programů (**viz příloha C a příloha D**). Pro účely lepšího vyhodnocení dat byla také vozidla vybavena záměrnými body. Dron se pohyboval nad jedoucimi vozidly vždy ve stejné výšce, která byla experimentálně určena na 40 m.

4.3.3 Metodika měření

Úkoly zaměřené na předjíždění a parkování byly realizovány účastníky ve dvou testovacích vozidlech, která byla vybavena jak konvenčními bočními zrcátky, tak digitálními zrcátky, což umožnilo přímé porovnání výsledků a následné provedení statistické analýzy. Pro minimalizování vlivu předchozích zkušeností z jednotlivých vozidel, byl každý účastník zařazen do testování v náhodně vybraném vozidle. Průměrná doba potřebná k absolvování všech úkolů spojených s testováním v každém z vozidel činila přibližně 30 minut. Všechna testování probíhala v letních měsících na venkovních testovacích plochách, což zajistilo optimální podmínky viditelnosti pro všechny zúčastněné.

Měřené veličiny:

- vzdálenost vozidel číslo 1 a 2 - D_p (cm)
- čas, potřebný pro vyhodnocení dopravní situace v pravém i levém zpětném zrcátku (s)

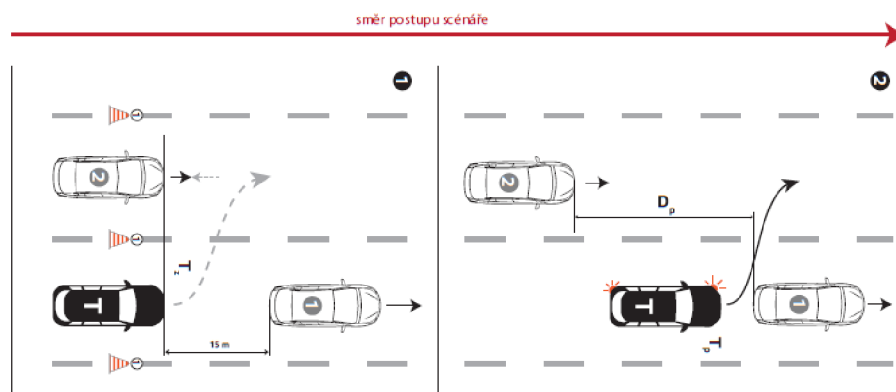
Subjektivní dojmy účastníků byly zjištěny z dotazníku, který byl vyplněn ihned po testu.

Popis měření:

1. Na začátku testu všechna vozidla jedou v pravidelném rozestupu (viz Obr. 56) při konstantní rychlosti $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Testované vozidlo udržuje vzdálenost 15 m (odpovídající třem délkám vozidla) za vozidlem č. 1. Vozidlo č. 2 se pohybuje paralelně s testovacím vozidlem při stejné rychlosti. Jakmile testovací vozidlo projede návěstidlem označeným

číslem 1, vozidlo č. 2 zpomalí pomocí tempomatu o $10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, čímž začne postupně vytvářet prostor pro předjetí. Ve stejný okamžik asistent ve vozidle spustí měření času. Vozidlo č. 1 i nadále pokračuje v jízdě na tempomat při konstantní rychlosti $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ po celou dobu testu.

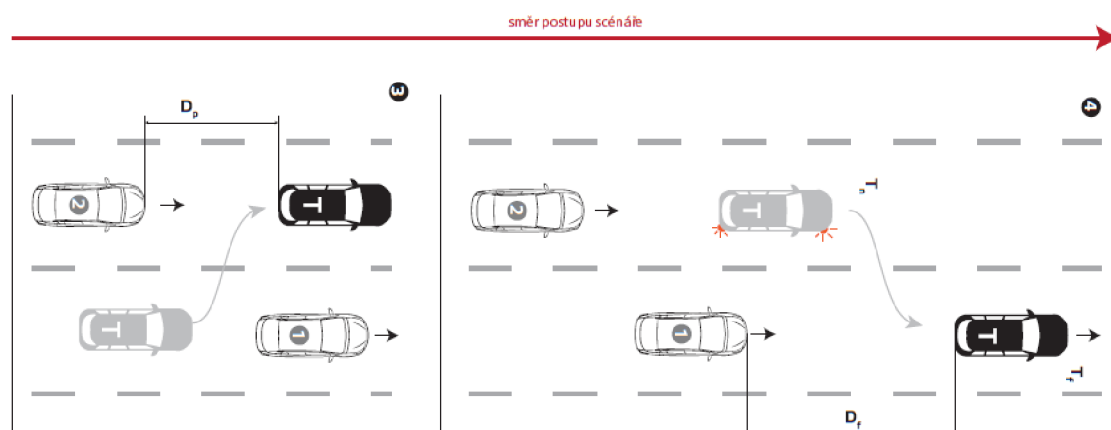
2. Jakmile účastník testu usoudí, že vzdálenost D_p je dostatečná pro bezpečné předjíždění, aktivuje levý blinkr a zahajuje manévr. Při otočení volantem asistent zaznamená čas T_p , který označuje začátek. Testovací vozidlo plynule přejíždí do levého pruhu a pokračuje, dokud manévr nedokončí. Přímé měření vzdálenosti D_p během manévru není možné, bude vypočítána z dostupných dat, aby byla zajištěna přesná analýza bezpečnosti a rozhodovacích faktorů.



Obr. 56: Schématické znázornění předjížděcího manévru 1. fáze [vlastní]

3. Po zařazení do levého jízdního pruhu pokračuje účastník v předjížděcím manévru plynulým tempem (viz Obr. 57). Jakmile testovací vozidlo plně obsadí levý jízdní pruh, řidič vozidla č. 2 provede měření vzdálenosti mezi testovacím vozidlem a vozidlem č. 2 (D_p) pomocí laserového dálkoměru. Během celého manévru je rychlost testovacího vozidla ponechána zcela na uvážení účastníka testu, což umožňuje přirozenou variabilitu chování řidičů v reálných podmínkách. Jakmile se testovací vozidlo dostane do mírného náskoku před vozidlo č. 1, je očekáváno, že účastník začne sledovat polohu obou vozidel pomocí pravého zpětného zrcátka, aby bezpečně dokončil manévr. Asistent ve vozidle, který dohlíží na průběh testu, se soustředí výhradně na monitorování situace s cílem zajistit, že manévr proběhne bezpečně a bez jakéhokoliv ohrožení. V případě, že by nastala neočekávaná situace nebo riziko, je asistent připraven okamžitě zasáhnout a zajistit bezpečnost účastníků testu.

4. Jakmile účastník testovacího vozidla na základě sledování pozice vozidla vůči vozidlu č. 1 v pravém zpětném zrcátku usoudí, že je jeho pozice dostatečná pro dokončení předjetí, zapne pravý ukazatel směru a začne se vracet do pravého pruhu. Jakmile testovaná osoba začne pohybovat volantem vpravo, asistent zaznamená čas T_n . Po zařazení testovacího vozidla do pravého pruhu a narovnání volantu testovanou osobou asistent zaznamená čas T_f . V okamžiku, kdy se testovací vozidlo zcela zařadí do pravého pruhu, řidič vozidla č. 1 změří vzdálenost mezi oběma vozidly (D_f) pomocí laserového dálkoměru. Po zaměření této vzdálenosti test končí.



Obr. 57: Schématické znázornění předjížděcího manévru 2. fáze [vlastní]

4.4 Dotazníky

Všichni účastníci (176 osob) se poprvé setkali s technologií digitálních zpětných zrcátek během experimentálního měření v Milovicích, což poskytlo možnost analyzovat jejich počáteční reakce a proces adaptace na tuto novou technologii v reálných podmínkách automobilového provozu. Tento fakt umožnil analyzovat jejich počáteční reakce a přizpůsobení se této inovativní technologii ihned po přímé interakci s vozidlem. Účastníci vyplňovali vstupní dotazník před a výstupní dotazník po absolvování předjížděcího a dvou parkovacích manévru.

Vstupní dotazník byl rozdělen do dvou hlavních kategorií. První kategorie se zaměřovala na sociodemografické údaje (viz Tab. 3 a Tab. 4). Kromě informací o věku, místě bydliště a specifických parametrech týkajících se osobních řídicích zkušeností, uvedli účastníci také, zda denně dojíždějí do práce nebo používají dioptrické brýle.

Vzhledem k nízkému zastoupení žen v testovaném vzorku nebyl parametr pohlaví zahrnut do vstupních dat.

Tabulka 3: Primární informace o účastnících týkající se měření

Věk		Bydliště		Dioptrické brýle	
méně než 34 let	34+ let	malé město	krajské město + Praha	ano	ne
101	75	88	88	60	116

Tabulka 4: Sekundární informace o účastnících týkající se měření

Úroveň vzdělání		Každodenní dojíždění do práce		Celkový počet najetých kilometrů	
střední škola	vyšší škola	ano	ne	do 100 000	100 001+
48	128	132	44	52	124

Druhá část dotazníku se zaměřila na subjektivní názory účastníků, což umožnilo analýzu důvěry řidičů v technologii digitálních zrcátek. Dotazy v této kategorii zahrnovaly vnímání bezpečnosti a důvěry v technologii, snadnost ovládnutí vozidla s touto novou technologií, odhadované náklady na modernizaci vozidla a zájem účastníků o integraci této technologie do jejich osobního či každodenního vozidla.

Po dokončení měření byly všechny získané klinické údaje digitalizovány a analyzovány pomocí kontingenčních tabulek a Pearsonova chí-kvadrát testu. Tento analytický přístup byl zvolen pro zajištění statistického hodnocení shromážděných dat. Pro většinu otázek měli respondenti tři možné odpovědi, u tří otázek byly použity pouze dichotomické odpovědi týkající se ceny, umístění displeje a požadavků na zahrnutí dalších funkcí do technologie digitálních zrcátek. Tento přístup umožnil efektivní porovnání různých kategorií a identifikaci významných trendů a rozdílů mezi nimi.

Strukturovaná analýza poskytla detailní pohled na vzorce v datech a přispěla k celkovému porozumění efektivitě zkoumané technologie. Pozornost byla rovněž věnována návrhům účastníků, které mohou podpořit další vývoj této technologie.

Jedním z hlavních cílů této studie bylo zjistit, zda existuje vztah mezi objektivně měřenými parametry řidičů a jejich preferencemi při používání technologie digitálních zrcátek. Dále se studie zaměřila na zjištění, zda existuje závislost mezi těmito parametry a subjektivním pocitem bezpečí při používání technologie v různých jízdních situacích. Posledním cílem bylo posoudit vztah mezi sociodemografickými parametry a akceptací této technologie.

4.5 Expertní testování nákladních vozů a zemědělské techniky

Pro účely testování byla zvolena metodika zahrnující dvě hlavní části: praktickou zkoušku a expertní hodnocení.

Praktické testování

Byla provedena jízda s nákladními vozy a zemědělskou technikou vybavenou digitálními zrcátky za různých světelných a povětrnostních podmínek. Řidiči-profesionálové se zaměřili na manévrování (např. couvání, parkování, předjíždění) a vnímání okolí prostřednictvím digitálních zrcátek.

Expertní hodnocení

Po zkušební jízdě byly s řidiči vedeny polostrukturované rozhovory zaměřené na hodnocení technologie. Diskutovala se ergonomie, kvalita zobrazení, schopnost rozpoznání překážek, eliminace mrtvých úhlů a celkové přijetí technologie.

Sběr a analýza dat

Data byla získána jak subjektivním hodnocením (dotazníky, rozhovory), tak objektivními měřeními, jako je čas reakce na podněty zobrazené v digitálních zrcátkách. Součástí analýzy byla také komparace s konvenčními zrcátky.

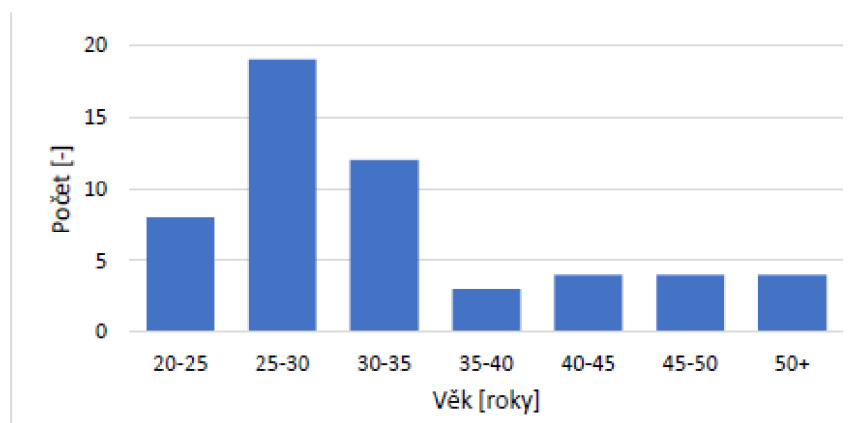
Tato metodika umožnila získat jak kvantitativní, tak kvalitativní informace, které poskytují komplexní přehled o přínosech a omezeních digitálních zrcátek v nákladních vozidlech a zemědělské technice.

5 VÝSLEDKY A DISKUZE

5.1 Akomodace

Na základě výše uvedené metodologie byla získána data, která sloužila jako podklad pro následující vyhodnocení.

Věkové rozložení účastníků studie je znázorněno v grafu (viz Obr. 58). Průměrný věk testované skupiny, zaokrouhlený na celé číslo, činil 33 let. Věkový rozsah se pohyboval od 20 let (nejmladší účastník) po 59 let (nejstarší účastník). Nejvyšší frekvence věkového zastoupení byla v intervalu 25 až 30 let. Modální hodnota, tedy nejčastější věk účastníků, činila 27 let, přičemž medián, reprezentující střední hodnotu souboru, dosahoval hodnoty 29,5 let. Složení testované skupiny bylo do značné míry ovlivněno dostupností účastníků a organizačními faktory, což vedlo k tomu, že převážná většina účastníků pocházela z univerzitního prostředí, což se projevilo i v relativně nižším průměrném věku skupiny.



Obr. 58: Graf věkového rozložení účastníků testování akomodace [vlastní]

Testovací vzorek tvořilo 15 žen a 39 mužů, což odráží výraznou převahu mužů mezi účastníky. Zajímavým zjištěním je, že pouze 8 účastníků mělo předchozí zkušenosti s používáním digitálních zpětných zrcátek. Tato skutečnost může mít významný vliv na výsledky studie, jelikož předchozí zkušenost s touto technologií může ovlivnit způsob vnímání a interakce s digitálními zrcátky, což by mohlo mít vliv na celkové hodnocení jejich použitelnosti a ergonomie.

5.1.1 Závislost rychlosti času čtení na technologii

Průměrné časy potřebné k přečtení textu v jednotlivých zrcátkách jsou uvedeny v tabulce 5. Z dat vyplývá, že čtení bylo rychlejší při použití levých zrcátek v obou technologiích než při pohledu do pravých. U konvenčních zrcátek byl zaznamenán stranový rozdíl 0,142 s, což lze přičíst času potřebnému k otočení hlavy směrem doprava, kdy je nutné vykonat větší úhlový pohyb. Naopak při pohledu do levého zrcátka většina účastníků využívala převážně periferní vidění, což vedlo k minimálnímu pohybu hlavy. U pravého oka byl pohyb hlavy výraznější, což prodlužovalo reakční čas.

Podobný vzorec byl pozorován i u digitálních zrcátek, kde byl stranový rozdíl ještě větší a dosahoval 0,179 s. Po odečtení 0,142 s, což je čas potřebný k pootočení hlavy u konvenčních zrcátek, zbývá rozdíl 0,037 s. Tento rozdíl by mohl být způsoben delší akomodační amplitudou, která je u digitálních zrcátek vyžadována. I když by se dalo očekávat, že čas u digitálních zrcátek bude kratší, tento rozdíl může naznačovat, že jiné faktory, jako je vizuální vjem nebo odlišné uspořádání zobrazení, mohou hrát významnější roli v prodloužení doby čtení.

Tabulka 5: Průměrné hodnoty časů nutných pro akomodaci u obou typů zrcátek

n = 54	Levé (konvenční)	Levé (digitální)	Pravé (konvenční)	Pravé (digitální)
Průměrný čas (s)	1,155	1,216	1,297	1,394
Rozdíl časů (s)	0,061		0,098	
Rozdíl časů (%)	5,1 %		7,2 %	

Brýle Tobii Pro zaznamenávaly nejen pohyb očí a fixaci pohledu, ale také hlas účastníků. S využitím video editoru Shotcut byl extrahován přesný čas potřebný k rozpoznání slov. Tento čas byl zaznamenán pro konvenční zrcátka i digitální boční zrcátka (levé a pravé). Průměrný čas potřebný pro všechny účastníky (n = 54) k rozpoznání slov u konvenčního zrcátka činil 1,155 s na levé straně a 1,297 s na pravé straně, zatímco u digitálních zrcátek to bylo 1,216 s na levé straně a 1,394 s na pravé straně. Rozdíl mezi levým a pravým zrcátkem může být přičítán času potřebnému k otočení hlavy doprava, což vyžaduje větší úhlový pohyb hlavy. Rozdíl mezi konvenčními a digitálními zrcátky (levé = 0,061 s; pravé = 0,098 s) je pravděpodobně

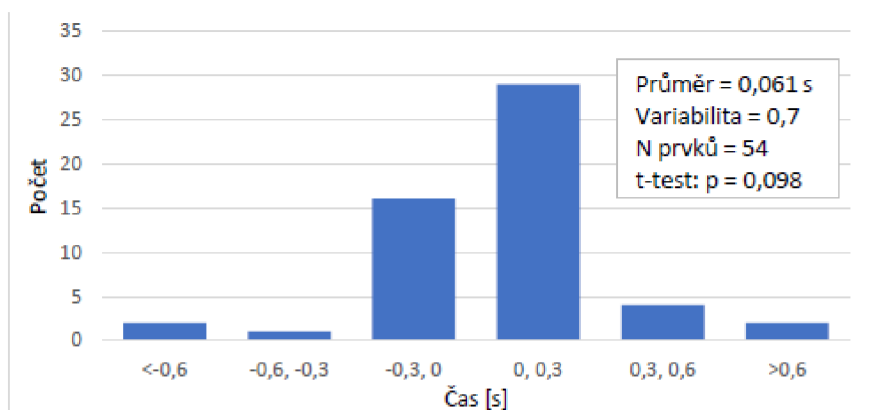
způsoben časem potřebným na akomodaci očí při přechodu z konvenčního zrcátka na digitální displeje.

Pro analýzu rozdílů v časech čtení mezi digitálními a konvenčními zrcátky byl aplikován Studentův t-test, který je vhodný pro porovnání průměrů dvou nezávislých souborů dat za předpokladu normálního rozdělení a shody variancí. Tento test umožňuje zjistit, zda jsou pozorované rozdíly v průměrných časech čtení statisticky významné, a tím i určit, zda rozdíly mezi technologiemi lze považovat za náhodné, či nikoliv.

V případech, kdy nebyly splněny předpoklady pro použití t-testu, zejména pokud data nevyhovovala podmínkám normality, byl zvolen neparametrický test. Neparametrické testy jsou robustnější vůči porušení předpokladů normality a umožňují analýzu dat, která nejsou rovnoměrně rozložena. Tento přístup zajistil, že rozdíly mezi oběma typy zrcátek byly statisticky vyhodnoceny i v případech, kdy t-test nebyl aplikovatelný.

5.1.2 Závislost rychlosti času čtení levé zrcátko

Rozdíly v časech čtení testovaných slov při použití levého digitálního a konvenčního zrcátka jsou znázorněny v grafické podobě (viz Obr. 59). Průměrný rozdíl mezi časy činil 0,061 s, přičemž variabilita tohoto rozdílu byla 0,7. Pro vyhodnocení statistické významnosti tohoto rozdílu byl použit Studentův t-test na hladině významnosti 95 %. Výsledná p-hodnota dosáhla hodnoty 0,098, což naznačuje, že rozdíl není statisticky významný při této úrovni spolehlivosti. V případě snížení hladiny spolehlivosti na 90 % by však výsledek mohl být považován za statisticky významný, jelikož hodnota p by spadla pod tuto stanovenou mez.

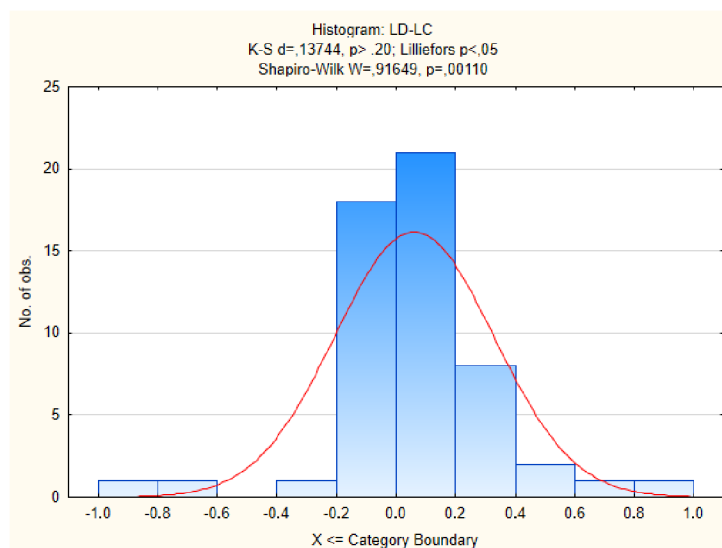


Obr. 59: Graf rozdílu času čtení u levých zrcátek [vlastní]

Pro správnou interpretaci Studentova t-testu a platnost výsledků je kladeno důraz na splnění předpokladu normality rozdělení dat. V souladu s tím byly rozdíly v měřených časech podrobeny analýze normality, která byla provedena pomocí softwaru Statistica, jež poskytl nezbytné informace o distribuci dat. Tento postup zajistil, že aplikace t-testu byla oprávněná a statistická analýza vychází z platných předpokladů.

Výsledky Shapiro-Wilkova testu normality [113], zobrazené na obrázku 60, ukázaly, že rozdíly v časech čtení u levých zrcátek neodpovídají normálnímu rozdělení (p - hodnota $< 0,05$). Tato skutečnost vylučuje možnost použití Studentova t-testu, který vyžaduje normální rozdělení dat. Vzhledem k tomu byl pro validní statistické porovnání rozdílů mezi technologiemi zrcátek zvolen neparametrický Wilcoxonův párový test [135], který je vhodný pro analýzu dat, která nevyhovují požadavkům normality.

Výsledky Wilcoxonova testu (viz Tab. 6) ukázaly p -hodnotu 0,038, což je pod kritickou hranicí 0,05. Tento výsledek umožňuje zamítnout nulovou hypotézu, čímž se potvrzuje existence statisticky významných rozdílů v časech čtení mezi digitálními a konvenčními zrcátky. Na základě těchto výsledků lze konstatovat, že pozorované rozdíly nejsou náhodné, ale jsou statisticky podložené, což ukazuje na významnou odchylku mezi porovnávanými technologiemi zrcátek.



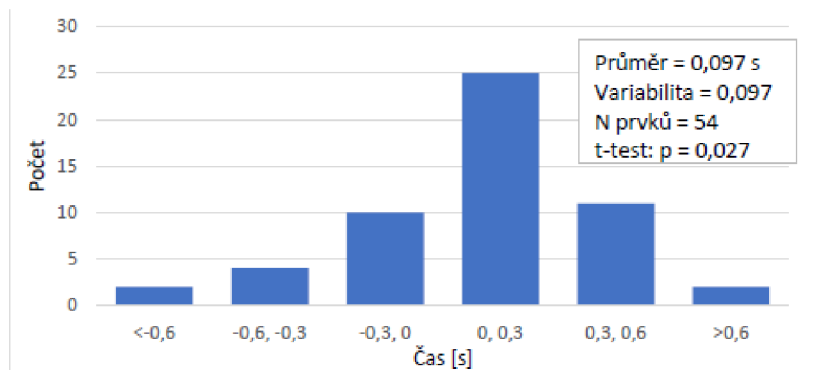
Obr. 60: Graf rozdělení u levého digitálního a konvenčního zrcátka [vlastní]

Tabulka 6: Wilcoxonův párový test [135] rozdílů mezi LD a konvenčním zrcátkem

Počet účastníků	T	Z	P-hodnota
54	481,5	2,07154	0,038309

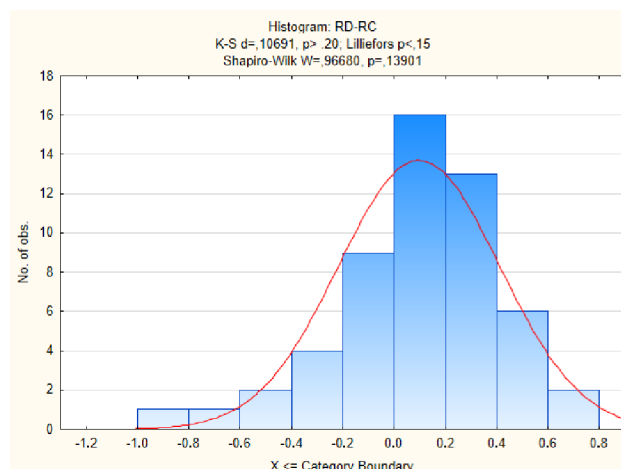
5.1.3 Závislost rychlosti času čtení pravé zrcátka

Normalita rozdělení byla znovu ověřena pomocí Shapiro-Wilkova testu pro měřené výsledky získané pro pravá boční zrcátka. Z rozdělení, znázorněného ve formě grafu na obrázku 61, je zřejmé, že data mají normální rozdělení ($p = 0,139$). Na základě tohoto zjištění bylo možné aplikovat Studentův t-test pro vyhodnocení výsledků. Tento test vyšel s výslednou p-hodnotou 0,027, což je méně než 0,05, čímž potvrzuje existenci statisticky významného rozdílu na úrovni 95% spolehlivosti.



Obr. 61: Graf rozdílu času čtení u pravých zrcátek [vlastní]

Data sledují normální rozdělení, což je dále podpořeno výsledkem Shapiro-Wilkova testu (viz Obr. 62), kde p-hodnota přesahuje stanovenou hranici významnosti 0,05. Tento výsledek indikuje, že předpoklad normality nebyl porušen, a proto je možné využít Studentův t-test k analýze těchto dat. Vzhledem k tomu, že splňujeme podmínku normálního rozdělení, lze Studentův t-test považovat za validní nástroj pro vyhodnocení statistické významnosti rozdílů v analyzovaných skupinách. Tento test tak poskytuje spolehlivé výsledky pro další interpretaci dat.



Obr. 62: Graf rozdělení u pravého digitálního a konvenčního zrcátka [vlastní]

Uvedené rozdíly v časech potřebných na akomodaci se mohou zdát relativně zanedbatelné, ale pokud je tento rozdíl převedený na ujeté metry, v závislosti na rychlosti vozidla, jedná se již o podstatný rozdíl, jak je uvedeno v tabulce 7. Rozdíl je nejvýraznější při cestovní rychlosti $130 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, což je nejvyšší rychlostní limit na dálnici ve většině evropských zemí [114]. U levého bočního zrcátka je to 2,203 m a u pravého zrcátka dokonce 3,539 m, což je vzdálenost, která může hrát významnou roli z hlediska bezpečnosti silničního provozu. Pokud se k tomu přičte zpoždění způsobené samotnou technologií digitálního zrcátka, celková vzdálenost může být více než dvojnásobná, což může odpovídat až jedné délce osobního automobilu.

Tabulka 7: Hodnoty vzdáleností ujetých vozidlem při průměrném časovém rozdílu

Rychlost ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	Rychlost ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Rozdíl ve vzdálenosti ujeté při čtení levého zrcátka (m)	Rozdíl ve vzdálenosti ujeté při čtení pravého zrcátka (m)
130	36,11	2,203	3,539
90	25,00	1,525	2,450
50	13,89	0,847	1,361

V dosažených výsledcích se objevuje jedna relativní kontradikce. Teoreticky by úsilí vynaložené na akomodaci mělo být nižší při pohledu do pravého zrcátka než do levého, jelikož zaostřovací bod pravého zrcátka je přibližně dvakrát vzdálenější. Tento fakt by měl vést ke kratšímu naměřenému čtecímu času u pravého zrcátka. Výsledky však ukazují opačný trend. Vysvětlení lze nalézt v rozdílné délce času potřebného na otočení hlavy, který je zahrnut do celkového měření. Když se odečtou časy spojené s otočením hlavy vlevo a vpravo, zůstává rozdíl 0,037 s, v neprospěch pravého zrcátka.

Teoreticky by měl tento časový rozdíl vycházet ve prospěch levého zrcátka, pokud bychom vzali v úvahu mechanismus akomodace. Nicméně, tento rozdíl pravděpodobně odráží čas, který respondent potřebuje k orientaci v prostoru a k „nalezení“ pravého zrcátka v prostoru kabiny. Zatímco obraz v levém zrcátku je často vnímán částečně periferně, což usnadňuje rychlejší reakci, orientace na pravé zrcátko vyžaduje větší úhlový pohyb hlavy.

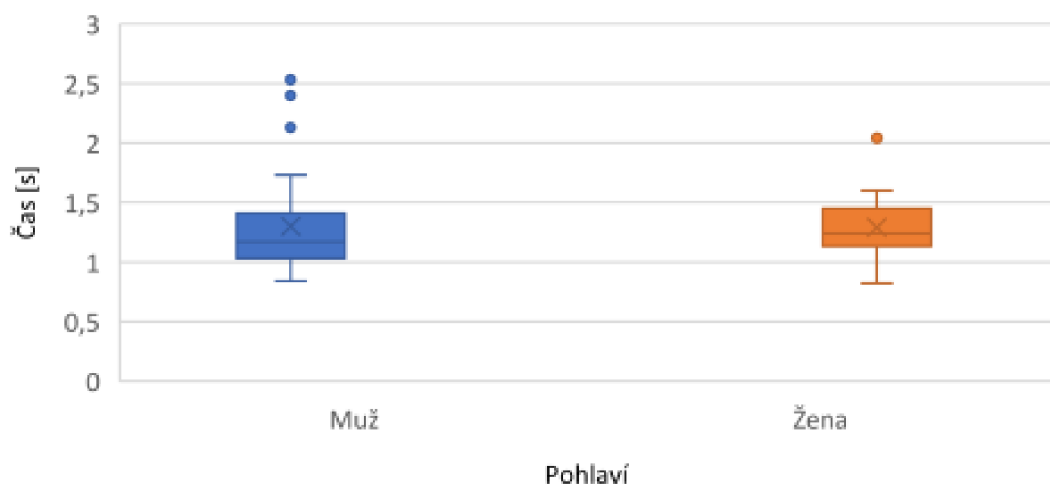
Důležité je zdůraznit, že tyto rozdíly v čase spojené s pohybem hlavy a prostorovou orientací neovlivňují samotné hodnocení akomodace mezi konvenčními a digitálními zrcátky. Vliv těchto faktorů se vzájemně vyrovnává, což zajišťuje,

že pozorované rozdíly jsou čistě výsledkem akomodačních procesů, a nikoliv mechanických pohybů hlavy.

5.1.4 Závislost rychlosti čtení na pohlaví

Pro vyhodnocení statistické významnosti rozdílů v čase čtení mezi různými pohlavími byla zvolena neparametrická metoda porovnání dvou nezávislých vzorků, konkrétně Kolmogorov-Smirnovův test. Tento test je vhodný pro analýzu dat, která nemusí splňovat předpoklady normality, a umožňuje porovnat rozdělení dvou vzorků. Kolmogorov-Smirnovův test se zaměřuje na maximalizaci rozdílu mezi empirickými distribučními funkcemi obou skupin, což poskytuje robustní způsob posouzení, zda existují významné rozdíly v čase čtení v závislosti na pohlaví účastníků. Tato metodologie umožňuje lépe porozumět tomu, jak mohou faktory jako pohlaví ovlivnit výkon v testovaných úlohách.

Časy potřebné k přečtení textu v závislosti na pohlaví účastníků jsou znázorněny na obrázku 63. Primárním cílem této analýzy bylo zjistit hodnotu p , která se v tomto případě ukázala být větší než 0,1, jak je uvedeno v tabulce 8. Tento výsledek naznačuje, že mezi časy přečtení u mužských a ženských účastníků testu nejsou statisticky významné rozdíly. Tímto se potvrzuje, že pohlaví nemá významný vliv na rychlost, s jakou účastníci dokážou číst text z levého konvenčního zrcátka. Tyto nálezy mohou být užitečné pro další výzkum zaměřený na vliv různých faktorů na výkon v úlohách spojených s pozorností a akomodací.

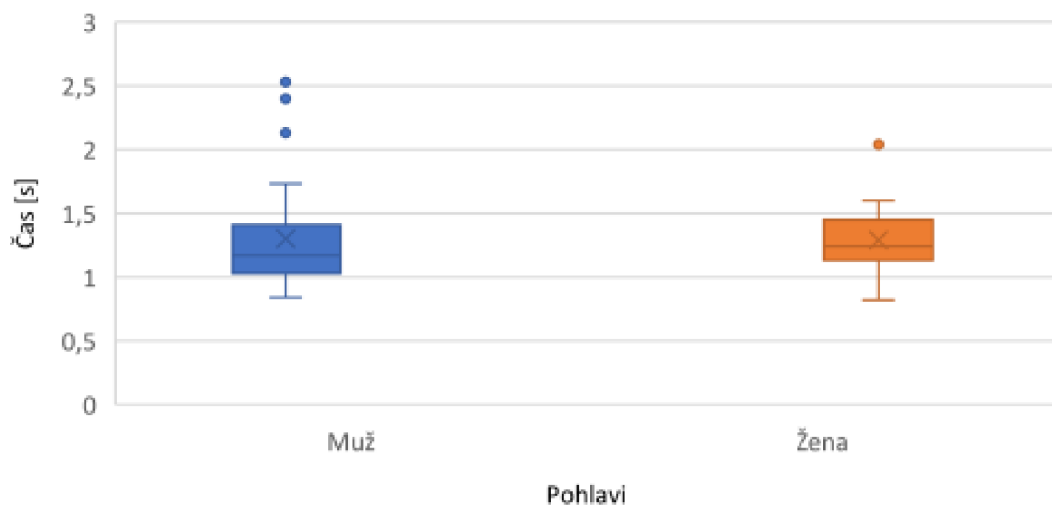


Obr. 63: Graf závislosti času čtení na pohlaví u levého konvenčního zrcátka [vlastní]

Tabulka 8: Kolmogorov-Smimovův test u levého konvenčního zrcátka

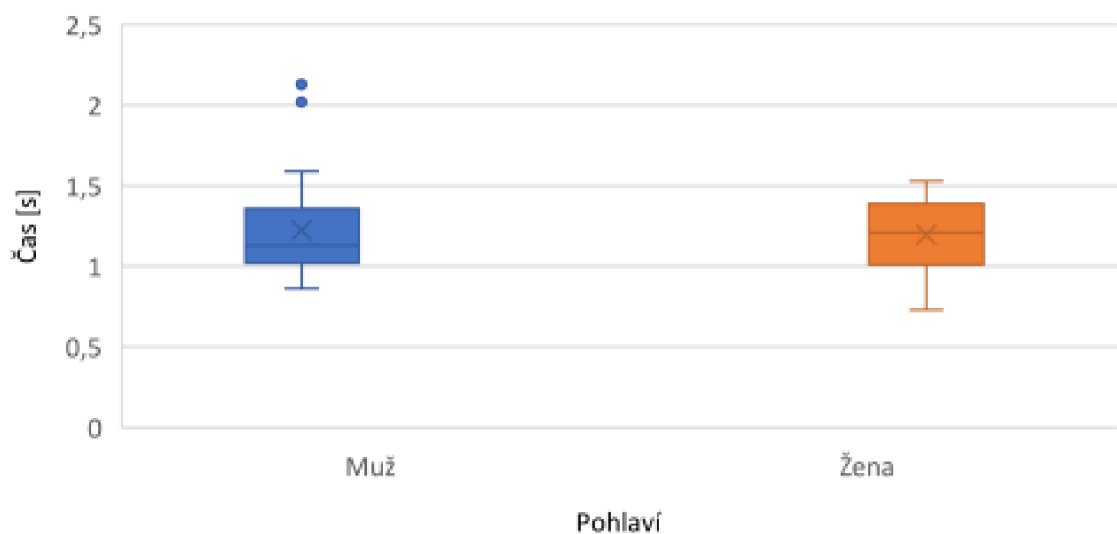
Max záporný rozdíl	Max kladný rozdíl	P-hodnota	Průměr muž	Průměr žena	Směrodatná odchylka muž	Směrodatná odchylka žena	Platných muž	Platných žena
-0,241026	0,138462	p > 0,10	1,157051	1,148	0,316011	0,233611	39	15

Časy potřebné k přečtení textu v pravém konvenčním zrcátku v závislosti na pohlaví účastníků zobrazuje obrázek 64. U mužských účastníků jsou patrné určité hodnoty, které výrazně odcházejí od průměrných časů, což naznačuje variabilitu v jejich výkonech. V rámci této analýzy bylo provedeno neparametrické testování, které prokázalo, že mezi časy přečtení u mužských a ženských účastníků neexistuje statisticky významný rozdíl, jak je uvedeno v tabulce 9. Tyto výsledky potvrzují, že pohlaví nemá významný vliv na rychlost čtení v případě pravého konvenčního zrcátka, což je důležité z hlediska ergonomie a designu zrcátek, neboť naznačuje, že výkon v této úloze je konzistentní napříč oběma pohlavími.

**Obr. 64:** Graf závislosti času čtení na pohlaví u pravého konvenčního zrcátka [vlastní]**Tabulka 9:** Kolmogorov-Smimovův test u pravého konvenčního zrcátka

Max záporný rozdíl	Max kladný rozdíl	P-hodnota	Průměr muž	Průměr žena	Směrodatná odchylka muž	Směrodatná odchylka žena	Platných muž	Platných žena
-0,179487	0,133333	p > 0,10	1,223333	1,195333	0,280351	0,242483	39	15

Na obrázku 65 je znázorněna závislost rychlosti čtení textu na pohlaví účastníků při použití levého digitálního zrcátka. Podobně jako v případě předchozích grafů, i zde neparametrické testování potvrdilo, že mezi časy čtení u mužských a ženských účastníků nejsou statisticky významné rozdíly, jak je uvedeno v tabulce 10. Tento výsledek naznačuje, že pohlaví nemá zásadní vliv na rychlost čtení v kontextu levého digitálního zrcátka, což je relevantní z pohledu designu a ergonomie těchto zařízení. Získané údaje tak přispívají k pochopení toho, jak se různé faktory mohou uplatnit v interakci mezi uživateli a moderními technologiemi, a mohou sloužit jako základ pro další výzkum v této oblasti.

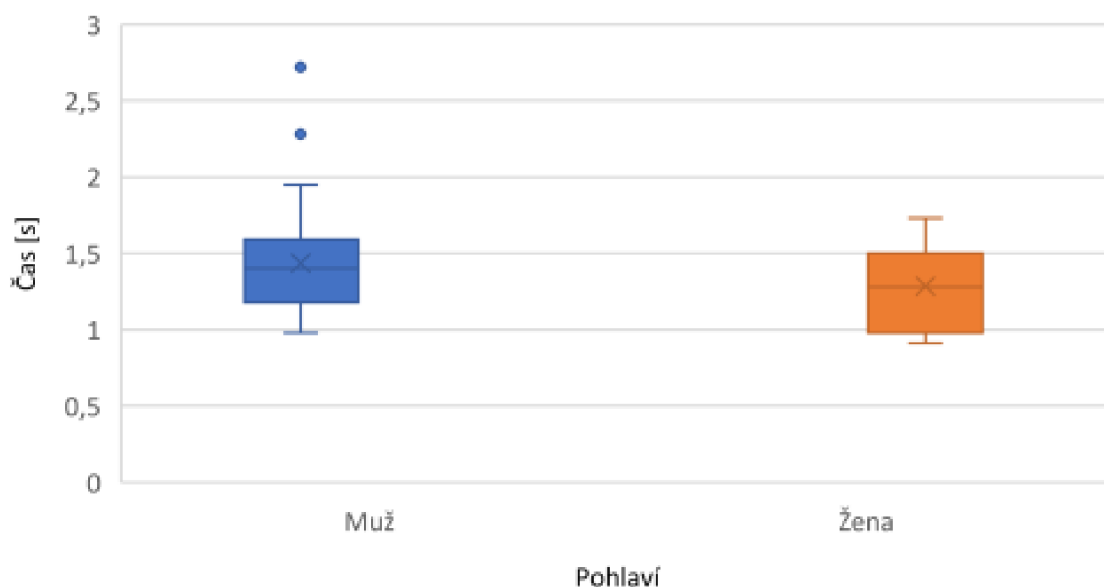


Obr. 65: Graf závislost času čtení na pohlaví u levého digitálního zrcátka [vlastní]

Tabulka 10: Kolmogorov-Smirnovův test u levého digitálního zrcátka

Max záporný rozdíl	Max kladný rozdíl	P-hodnota	Průměr muž	Průměr žena	Směrodatná odchylka muž	Směrodatná odchylka žena	Platných muž	Platných žena
-0,24615	0,11282	p > 0,10	1,299744	1,288667	0,403338	0,28896	39	15

Na obrázku 66 je znázorněna rychlost čtení textu v závislosti na pohlaví účastníků při použití pravého digitálního zrcátka. V tomto případě hodnota p ze Studentova t -testu dosáhla hodnoty vyšší než 0,1, což indikuje, že se jedná o statisticky nevýznamný rozdíl. Tento výsledek, jak je potvrzeno v tabulce 11, naznačuje, že pohlaví nemá významný vliv na rychlost čtení při používání pravého digitálního zrcátka. Tyto poznatky mohou mít důsledky pro design digitálních zrcátek, neboť ukazují, že výkon v úlohách spojených s čtením je konzistentní napříč pohlavími, což může přispět k vývoji ergonomicky vhodných a uživatelsky přívětivých technologií.



Obr. 66: Graf závislosti času čtení na pohlaví u pravého digitálního zrcátka [vlastní]

Tabulka 11: Kolmogorov-Smirnovův test u pravého digitálního zrcátka

Max záporný rozdíl	Max kladný rozdíl	P-hodnota	Průměr muž	Průměr žena	Směrodatná odchylka muž	Směrodatná odchylka žena	Platných muž	Platných žena
-0,07179	0,246154	$p > 0,10$	1,436154	1,285333	0,347643	0,285028	39	15

Tabulka 12 ukazuje, že ani rozdíl v časech potřebných k přečtení textu mezi levým digitálním a konvenčním zrcátkem neprokázal statistickou významnost. Hodnota p v tomto případě překračuje 0,1, což naznačuje, že mezi těmito dvěma typy zrcátek neexistuje statisticky významný rozdíl v rychlosti čtení. Tyto výsledky mohou mít důsledky pro design a optimalizaci obou typů zrcátek, neboť naznačují, že uživatelská zkušenost a výkon při čtení zůstávají v obou případech srovnatelné. Tímto způsobem se výsledky mohou přispět k dalšímu porozumění dynamiky interakce mezi uživateli a různými technologiemi v automobilovém prostředí.

Tabulka 12: Kolmogorov-Smirnovův test rozdílu u LD a konvenčního zrcátka

Max záporný rozdíl	Max kladný rozdíl	P-hodnota	Průměr muž	Průměr žena	Směrodatná odchylka muž	Směrodatná odchylka žena	Platných muž	Platných žena
-0,1641	0,225641	$p > 0,10$	0,066282	0,047333	0,303765	0,135197	39	15

Výsledky neparametrického testování ukazují, že rozdíl v časech mezi pravým digitálním a konvenčním bočním zrcátkem je statisticky významný, jak je uvedeno v tabulce 13. Konkrétně hodnota p je menší než 0,025, což indikuje, že existuje významný rozdíl v rychlosti čtení mezi těmito dvěma typy zrcátek. Tento rozdíl naznačuje, že pohlaví účastníků ovlivňuje výkonnost v této oblasti, což může mít důsledky pro design a optimalizaci zrcátek. Výzkum naznačuje, že uživatelské preference a interakce se liší mezi muži a ženami, a měly by být zohledněny při vývoji nových technologií pro automobilový průmysl.

Tabulka 13: Kolmogorov-Smirnovův test rozdílu u PD a konvenčního zrcátka

Max záporný rozdíl	Max kladný rozdíl	P-hodnota	Průměr muž	Průměr žena	Směrodatná odchylka muž	Směrodatná odchylka žena	Platných muž	Platných žena
-0,1282	0,451282	$p < 0,025$	0,13641	-0,00333	0,343905	0,196311	39	15

V případě závislosti rozdílu v dosažených časech na pohlaví byla normalita distribuce výsledků ověřena pomocí Shapiro-Wilkova testu, a bylo zjištěno, že ve všech případech nešlo o normální distribuci. Proto byl pro statistické vyhodnocení výsledků zvolen neparametrický Kolmogorov-Smirnovův test [115].

Tabulka 14: Statistická data pro jednotlivá zpětná zrcátka, rozdělená podle pohlaví

Typ	P-value	Průměr muži (s)	Průměr ženy (s)	Směrodatná odchylna muži (s)	Směrodatná odchylna ženy (s)
LK	P > 0,1	1,157	1,148	0,316	0,233
PK	P > 0,1	1,223	1,195	0,280	0,242
LD	P > 0,1	1,299	1,288	0,403	0,288
PD	P > 0,1	1,436	1,285	0,347	0,285
LD-LK	P > 0,1	0,066	0,047	0,303	0,135
PD-PK	P < 0,025	0,136	-0,003	0,343	0,196

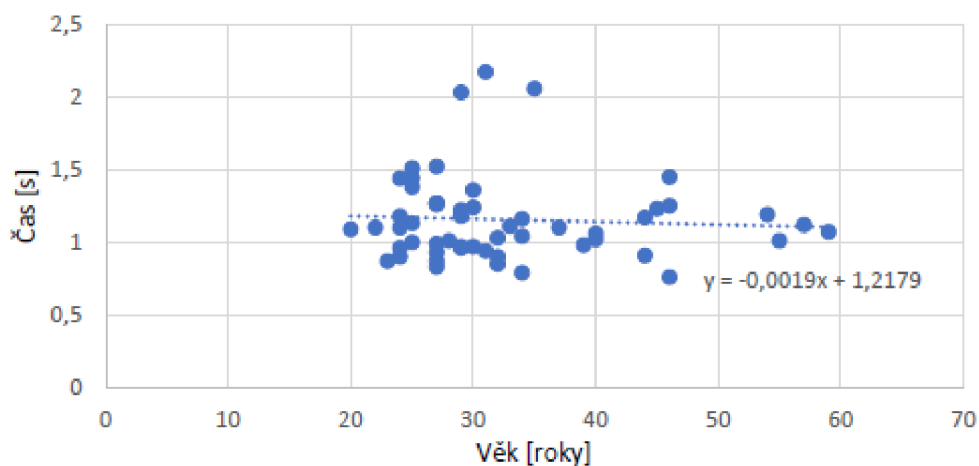
Poznámka: LK – levé konvenční zrcátka; PK – pravé konvenční zrcátka; LD – levé digitální zrcátka; PD – pravé digitální zrcátka; LD-LK – rozdíl mezi levým konvenčním a levým digitálním zrcátkem; PD-PK – rozdíl mezi pravým konvenčním a pravým digitálním zrcátkem.

Na základě hodnot uvedených v tabulce 14 jsou většina rozdílů mezi konvenčními a digitálními zrcátky v závislosti na pohlaví statisticky nevýznamné, takže lze dospět k závěru, že pohlaví neovlivňuje rozdíl v rychlosti akomodace u konvenčních nebo digitálních zrcátek. Jediná statisticky významná závislost mezi ženami a muži byla zjištěna v rozdílu v čtecích časech mezi konvenčními a digitálními zrcátky na levé straně. V tomto případě dosáhly ženy statisticky významných výsledků ve srovnání s muži. Vysvětlení tohoto rozdílu může být v obecném odpovědnějším přístupu žen k řízení vozidla, kde jsou výrazně více pozorné a zároveň opatrné [116].

5.1.5 Závislost rychlosti čtení na věku

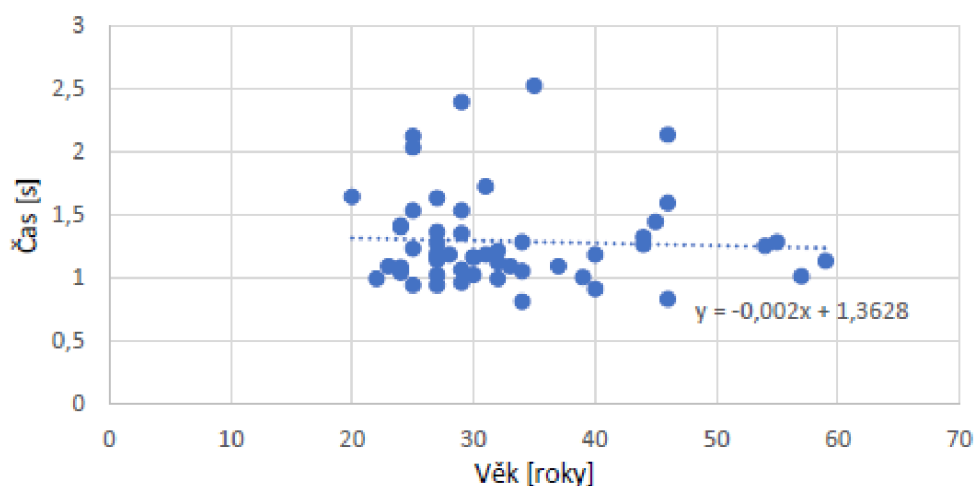
Pro testování závislosti rychlosti čtení na věku byla použita lineární regrese, ale nebyla zjištěna žádná statisticky významná závislost. Další statistické metody byly použity k ověření výsledků, ale žádná z nich také nepotvrdila statistickou závislost. Je evidentní, že k dosažení dostatečně významných statistických odchylek nebyl vzorek respondentů dostatečně heterogenní z hlediska věku. Významné omezení schopnosti akomodace nastává přibližně po 40. roce věku, kdy se začíná výrazně projevovat fenomén známý jako presbyopie [117]. Pro potvrzení této závislosti by bylo nutné vytvořit vzorek respondentů s vyšším průměrným věkem. To však nebylo možné v daných organizačních podmínkách.

Z analýzy zobrazené na obrázku 67 vyplývá, že věk účastníků nemá žádný významný vliv na rychlost přečtení textu při používání levého konvenčního zrcátka. Pozorovaná spojnice trendů vykazuje dokonce mírný pokles s rostoucím věkem, což může naznačovat, že starší účastníci čtou o něco pomaleji, avšak tento efekt není statisticky významný. Pro získání přesnějších a spolehlivějších závěrů by bylo žádoucí zahrnout do výzkumu větší skupinu účastníků ve věkové kategorii nad 35 let. Takový rozšířený vzorek by mohl poskytnout cennější informace o tom, jak se rychlost čtení vyvíjí s věkem, a přispět k lepšímu porozumění vztahu mezi věkem a uživatelskými schopnostmi při používání různých typů zrcátek.



Obr. 67: Graf závislosti času přečtení na věku u levého konvenčního zrcátka [vlastní]

Obrázek 68 vykazuje téměř identické vzory jako předchozí obrázek 67. Na základě získaných údajů lze opět potvrdit, že věk účastníků nemá významný vliv na rychlost čtení textu. Lineární spojnice trendů opět naznačuje mírný pokles, přičemž tento pokles je ještě pozvolnější než v případě levých konvenčních zrcátek. Tato zjištění dále podporují závěry z předchozí analýzy a naznačují, že ve sledovaném kontextu není věková variabilita rozhodujícím faktorem, který by ovlivňoval rychlost čtení. Pro důkladnější posouzení tohoto trendu a jeho potvrzení by však bylo užitečné zahrnout do výzkumu širší vzorek účastníků, zejména s ohledem na věkové rozložení. Tímto způsobem by bylo možné získat ucelenější pohled na vztah mezi věkem a rychlostí čtení v kontextu různých typů zrcátek.

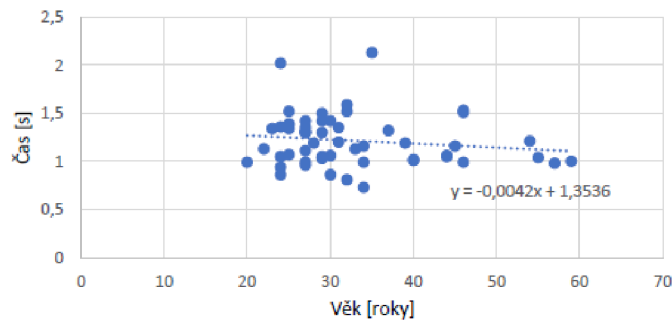


Obr. 68: Graf závislosti času přečtení na věku u pravého konvenčního zrcátka [vlastní]

Obrázek 69 zobrazuje čas potřebný k přečtení slova u levého digitálního zrcátka. Opět se potvrzuje, že neexistuje významná závislost mezi časem čtení a věkem účastníků. Přesto je zde patrnější klesající tendence v rámci lineární regrese. Teoreticky by se očekávalo, že čas potřebný k přečtení se bude s rostoucím věkem prodlužovat, což by bylo dáno ztrátou pružnosti čočky u starších jedinců. Tento neočekávaný výsledek lze přičíst tomu, že starší lidé mohou být zkušenější a efektivnější v orientaci a čtení, což by mohlo kompenzovat fyziologické změny spojené s věkem. Zajímavé je, že tento jev byl pozorován pouze v tomto specifickém případě levého digitálního zrcátka. To opět zdůrazňuje potřebu širšího a reprezentativnějšího vzorku dat pro důkladnější analýzu a interpretaci výsledků. Takový přístup by mohl přispět k lepšímu pochopení

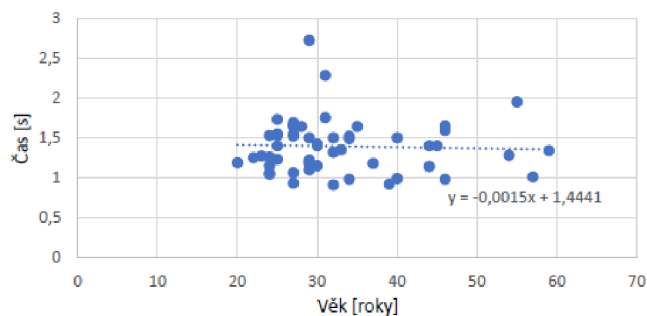
komplexního vztahu mezi věkem, zkušenostmi a rychlostí čtení v kontextu různých typů zrcátek.

Dále by bylo vhodné zkoumat, zda různé typy zrcátek, například pravé zrcátko nebo zrcátka v jiných vozidlech, vykazují podobné vzorce. Tato analýza by umožnila komplexnější posouzení vlivu věku na interakci s digitálními zrcátky. Takový výzkum by mohl vést k optimalizaci návrhu zrcátek a zlepšení jejich použitelnosti pro různé demografické skupiny.



Obr. 69: Graf závislosti času přečtení na věku u levého digitálního zrcátka [vlastní]

Obrázek 70 opět potvrzuje, že věk účastníků nemá významný vliv na rychlost přečtení textu. Trendová spojnice v tomto případě vykazuje podobný průběh jako u konvenčního zrcátka, což naznačuje, že faktory ovlivňující čtení zůstávají v obou případech konzistentní. Přesto je i zde pozorována mírná klesající tendence, což může naznačovat určitou tendenci ke zvyšování času potřebného k přečtení s rostoucím věkem, i když tento vliv není statisticky významný. Tento výsledek naznačuje, že ačkoli věk sám o sobě nemusí přímo ovlivňovat rychlost čtení, mohou existovat jiné faktory, jako je zkušenost a adaptace na dané zrcátko, které hrají roli v celkovém výkonu při čtení. Znovu je zřejmé, že pro podrobnější analýzu by bylo výhodné mít větší vzorek dat a prozkoumat další proměnné, které mohou přispět k pozorovaným trendům.



Obr. 70: Graf závislosti času přečtení na věku u pravého digitálního zrcátka [vlastní]

5.1.6 Závislost rychlosti čtení textu na objektivním stavu zraku

Základní hypotézou testování zrakové ostrosti a reakčních časů bylo očekávání, že dojde k prodloužení reakčního času při použití digitálních zrcátek (PD a LD), kdy je nezbytné zaměřit se na displej, což zahrnuje proces akomodace, tedy zaostřování a vynaložení dodatečného úsilí, jež může prodloužit reakční čas. Tento efekt se naopak nepředpokládal při používání konvenčních zrcátek, kde je mechanismus zaostřování přirozenější a rychlejší. Dále byl očekáván signifikantní rozdíl u účastníků s výrazným nekorigovaným refrakčním deficitem nebo u pacientů, kteří vykazují deficit akomodace při čtení nebo zaostřování na blízko, například na vzdálenost 40–100 cm. Tento předpoklad se opírá o poznatky z oblasti optometrie a o klinické zkušenosti, které naznačují, že jedinci se zhoršenou schopností akomodace mohou zažívat zpoždění při adaptaci na proměnlivé podmínky, což by mohlo vést k delšímu času potřebnému pro reakci na vizuální podněty.

V **příloze E** jsou shrnuty výsledky získané z provedeného vstupního oftalmologického vyšetření. Tyto přehledy obsahují klíčové informace o zrakové ostrosti, refrakčním deficitu a dalších relevantních parametrech, které byly stanoveny během vyšetření. Data slouží jako základ pro další analýzy a interpretaci výsledků výzkumu, přičemž umožňují identifikovat možné souvislosti mezi zrakovými schopnostmi účastníků a jejich výkonem při různých testech. Takové analýzy mohou přispět k lepšímu pochopení vlivu optických zařízení na reakční časy a akomodaci u různých skupin pacientů.

Na těchto výsledcích je zajímavé také to, že ačkoliv respondenti přicházeli na výzkum jako subjektivně zcela zdraví pacienti, bez dosud nedignostikované oční vady, v praxi se potvrdilo, že objektivně jejich zrak vykazuje určité vady.

Na základě analýzy provedené pomocí Pearsonova korelačního testu, jak je znázorněno v tabulce 15, byly identifikovány slabé negativní korelace. Z těchto výsledků je patrné, že účastníci s horší zrakovou ostroší bez korekce vykazují delší reakční časy, zatímco účastníci s lepší korigovanou zrakovou ostroší dosahují kratších reakčních časů. Tento trend je zejména výrazný u pravého zrcátka. Tyto korelace naznačují, že zraková ostrost má významný vliv na rychlost reakce, což může mít důsledky pro bezpečnost a efektivitu při používání optických zařízení, zvláště v kontextu řízení motorových vozidel.

Tabulka 15: Pearsonův test

	Reakční doba			
	PK	LK	PD	LD
addice 40	X	-0,07	X	-0,13
addice 100	-0,12	X	-0,16	X
abs hod akt kor	-0,03	-0,09	-0,02	-0,06
nová korekce	-0,06	-0,06	-0,08	-0,04
věk	-0,05	-0,06	-0,04	-0,15
visus nat	-0,20	-0,21	-0,32	-0,14
visus korigovaný Bino	-0,13	-0,24	-0,40	-0,17
teor vyn ak na 40 cm	X	X	X	-0,05
teor vyn ak na 100 cm	X	X	0	X

Stručné vysvětlivky:

visus – zraková ostrost, normováno dle fyziologicky předpokládaného rozlišení oka, 100% zraková ostrost (oko rozliší dva body bod úhlem jedné úhlové minuty) = označení 1,0, ale "rozlišení oka" může být samozřejmě zejména u mladých pacientů vyšší než fyziologicky očekávané, například 120 % = 1,2

visus naturalis – zraková ostrost pacienta bez použití korekce

nová korekce – korekce, která byla (naměřená při testování) nezbytná pro dosažení maximální nejlepší zrakové ostrosti

addice 40/100 cm – dioptrická hodnota deficitu akomodace pacienta na danou vzdálenost

teor. vyn. ak. 40/100 - teoreticky spočítaná míra využití akomodace (v dioptriích) se zohledněním nekorigované refrakční vady na obě vzdálenosti

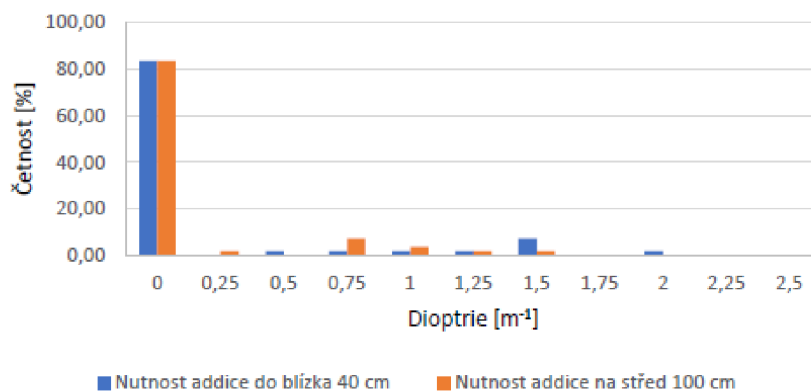
Obrázek 71 zobrazuje distribuci četností různých úrovní zrakové ostrosti mezi účastníky studie. Tato vizualizace poskytuje podrobný přehled o rozložení hodnot zrakové ostrosti v rámci zkoumaného vzorku. Většina účastníků vykazuje hodnoty

zrakové ostrosti v rámci standardní normy, což naznačuje, že populace zahrnutá do této studie má relativně dobré vizuální schopnosti. Další analýza by měla zahrnovat zkoumání vlivu tohoto rozložení na reakční časy a další faktory v oblasti ergonomie a bezpečnosti, což by přispělo k porozumění vztahům mezi zrakovými funkcemi a výkonem v kontextu interakce s technologiemi.



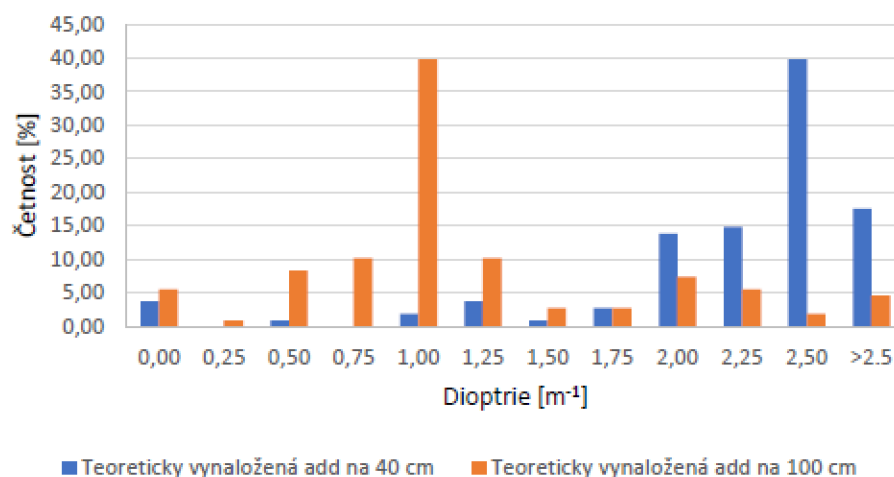
Obr. 71: Graf četnosti zrakového ostrosti [vlastní]

Obrázek 72 znázorňuje četnost velikosti potřebné akomodace pro čtení na blízko a střední vzdálenost. Z analýzy vyplývá, že více než 80 % účastníků nemá žádnou potřebu korekce, což naznačuje, že většina populace vykazuje adekvátní schopnost akomodace pro tyto vzdálenosti. Tento výsledek může mít důsledky pro posouzení ergonomických aspektů designu optických zařízení a může poskytnout cenné informace pro další výzkum v oblasti zrakových funkcí a jejich vlivu na každodenní aktivity. Je však důležité také zvážit individuální potřeby a variabilitu v rámci menšinové skupiny, která může vyžadovat specifické korekce.



Obr. 72: Graf četnosti velikosti akomodace do blízka a střední vzdálenosti [vlastní]

Četnost teoreticky vynaložené akomodace je zobrazená na obrázku 73. Tento obrázek poskytuje přehled o rozložení akomodačního úsilí mezi účastníky studie. Dále ilustruje, jak často jednotlivci využívají akomodaci pro zajištění optimálního vidění na blízké vzdálenosti. Analyzované údaje naznačují, že většina účastníků vykazuje adekvátní úroveň akomodačních schopností, což je v souladu s průměrným věkem a celkovým zdravotním stavem jejich zraku.



Obr. 73: Graf četnost teoreticky vynaložené akomodace [vlastní]

Analyzovaný soubor účastníků byl převážně mladý, s průměrným věkem pod 35 let, a vykazoval minimální výskyt významnějších refrakčních deficitů. Téměř 75 % účastníků mělo výbornou zrakovou ostrost, přičemž 83,33 % z nich nepotřebovalo žádnou korekci pro ostré vidění textu na vzdálenosti 40/100 cm. Tento soubor „mladých a zdravých očí“ se tedy potýkal s minimálními problémy v oblasti akomodace.

Podle údajů k roku 2020 byl průměrný věk populace v České republice přibližně 42,6 let, což se nachází na prahu začínajícího signifikantního úbytku akomodační schopnosti a vzestupu refrakční vady. V kontextu této analýzy by se logicky předpokládalo, že u pacientů, kteří vyžadují akomodaci do blízka (konkrétně ve věkových skupinách 22, 32, 39 a 43 let), by se měly projevovat zřetelnější rozdíly v časech reakcí. Nicméně naměřené časové rozdíly v reakcích nebyly natolik významné, což může naznačovat, že faktory ovlivňující akomodaci nejsou vždy přímo úměrné věku a refrakčním vadám. Tento výsledek podtrhuje potřebu dalších studií zaměřených na vliv věku a optických korekcí na akomodační schopnosti v širší populaci.

Omezení studie

Je zřejmé, že laboratorní podmínky a statické testování, při nichž vozidlo není v pohybu, mohou ovlivnit proces čtení ze zrcátka. Klíčové faktory, které nebyly simulovány v rámci laboratorních podmínek z důvodů operativních a bezpečnostních, zahrnují například proměnlivé vnější osvětlení, meteorologické podmínky nebo vibrace způsobené pohybem vozidla na nerovné silnici. Je však evidentní, že reálné podmínky by mohly významně ovlivnit a dále prohloubit rozdíly mezi konvenčními a digitálními zrcátky, což potvrzuje i jiná studie zaměřující se na použitelnost digitálních zrcátek v osobních vozidlech [118].

Použití digitálních zrcátek ve vozidlech představuje stále relativně novou oblast výzkumu, přičemž stále zbývá mnoho práce na plném pochopení jejich potenciálních přínosů a limitací. Naše studie se nezaměřovala na uživatele se zdravotním postižením, nicméně tento směr výzkumu má významný potenciál pro další prozkoumání. Následující kapitoly uvádějí možné směry pro pokračující výzkum, nicméně dosud nebyl nalezen dostatečný přehled vědeckých studií, které by se této problematice komplexně věnovaly.

Některé publikované studie [119] uvádějí jak pozitivní, tak negativní aspekty použití digitálních zpětných zrcátek. V těchto studiích však byla použita pouze konvenční forma zobrazení informací poskytovaných kamerami, přičemž potenciál pro vylepšení kvality zobrazovaných obrazů není dostatečně zohledněn.

Dalším významným faktorem je, že digitální zrcátka mohou zlepšit aerodynamiku vozidla a rozšířit zorné pole [120]. Tato vlastnost má potenciál pozitivně ovlivnit všechny řidiče, avšak její přínos není primárně zaměřen na řidiče se zrakovými vadami.

Digitální boční zrcátka rovněž vykazují potenciál pro integraci do pokročilých asistenčních systémů řidiče, jako jsou varování před opuštěním jízdního pruhu a monitorování mrtvého úhlu [121], čímž poskytují komplexnější a bezpečnější pohled na jízdní prostředí.

Výzkumy zaměřené na vozidla Lexus a Audi E-tron ukázaly, že digitální boční zrcátka poskytují řidiči shodnou nebo dokonce lepší viditelnost než konvenční optická zrcátka, i když jsou čočky kamer více znečištěné (dvakrát nebo více) než skleněný povrch konvenčního zrcátka [122, 123].

5.2 Parkování

Výsledky měření byly statisticky analyzovány a hodnoceny pomocí kontingenčních tabulek a Pearsonova chí-kvadrát testu na úrovni významnosti 0,05, jak je vysvětleno v článcích od McHugha [124] a Wassersteina [125]. Dále byla použita metoda upravených reziduí pro další zpřesnění a lepší interpretaci nalezených závislostí. Na základě využití kontingenčních tabulek a metody upravených reziduí byly v naměřených datech nalezeny statisticky významné závislosti.

5.2.1 Rychlost parkování

Na základě analýzy dat, uvedených v tabulce 16, lze dojít k závěru, že rozdíly v rychlosti parkování mezi oběma technologiemi zpětných zrcátek a typy parkovacích manévřů jsou statisticky významné. U řidičů, kteří používali digitální zpětná zrcátka, byla průměrná doba potřebná k dokončení podélného parkování o 6,9 s delší ve srovnání s tradičními zrcátky. Podobně bylo zjištěno, že u kolmého parkování byla tato doba prodloužena v průměru o 4,3 s.

Tyto výsledky naznačují, že použití digitálních zpětných zrcátek může ovlivnit efektivitu parkování, což lze přičíst pravděpodobně delší době potřebné k adaptaci zraku na displej či menší plynulosti při vykonávání manévřů. Vzhledem k tomu, že tyto rozdíly byly statisticky významné, je důležité zvážit tyto výsledky při hodnocení ergonomie a celkové použitelnosti digitálních zpětných zrcátek ve srovnání s konvenčními technologiemi.

Tabulka 16: Vyhodnocení rozdílů mezi konvenčními a digitálními zpětnými zrcátky

	Podélné parkování	Kolmé parkování
Průměrný čas pro digitální zrcátka (A)	53,1 s	42,8 s
Průměrný čas pro konvenční zrcátka (B)	46,1 s	38,5 s
Rozdíl v časech (A–B)	6,9 s	4,3 s
Směrodatná odchylka (A–B)	22,7 s	11,3 s
P-hodnota	0,02	0,01
Statistická závislost	Potvrzena	Potvrzena

Poznámka: A – vůz s digitální technologií, B – vůz s konvenční technologií

Tento časový rozdíl v neprospěch digitálních zpětných zrcátek může být na první pohled nevýrazný, avšak jeho potenciální dopad na psychický komfort řidičů nelze

podceňovat. Zpoždění, i když relativně malé, může představovat významný stresový faktor, zejména v situacích, kdy je vyžadována rychlá reakce nebo precizní manévrování. Hlavní příčinu zhoršeného výkonu u řidičů používajících digitální zrcátka lze spatřovat v obtížích při vnímání digitálně zprostředkovaného obrazu a v určité míře nedůvěry k jeho přesnosti. Výsledky naznačují, že psychologický faktor může hrát klíčovou roli v efektivitě využívání digitálních zrcátek, což je důležitý aspekt, který by měl být zohledněn při dalším vývoji a implementaci této technologie.

5.2.2 Přesnost parkování

Na základě výsledků uvedených v tabulce 19 lze konstatovat, že při podélném parkování byly zjištěny statisticky významné rozdíly v přesnosti, konkrétně ve vztahu k mezerám před a za vozidlem. Řidiči, kteří používali digitální zpětná zrcátka, vykázali průměrnou odchylku o 22,3 cm větší než ti, kteří používali konvenční zrcátka. Tento rozdíl může indikovat obtíže spojené s vnímáním prostoru z digitálního obrazu. Na druhé straně, co se týče přesnosti natočení vozidla a vzdálenosti od obrubníku, nebyly mezi technologiemi zrcátek zjištěny žádné statisticky významné rozdíly. Výsledek naznačuje, že i přes rozdíly v některých aspektech parkování jsou obě technologie srovnatelné, pokud jde o přesnost ve vztahu k pozici vozidla vůči chodníku. Hodnocení rozdílů mezi konvenčními a digitálními zpětnými zrcátky pro podélný parkovací manévr v závislosti na přesnosti parkování (viz Tab. 17).

Tabulka 17: Hodnocení rozdílů mezi zrcátky pro podélný parkování (přesnost)

	Přední a zadní mezera C–F	Natočení vozidla D–E	Vzdálenost od obrubníku abs (Y-D) + abs (Y-E)
Rozdíl průměrných odchylek abs (A) - abs (B)	22,3 cm	0,1 cm	1,7 cm
Směrodatná	44,1 cm	9,4 cm	20 cm
p-hodnota	>0,01	0,48	0,29
Statistická závislost	Potvrzena	Nepotvrzeno	Nepotvrzeno

Poznámka: A – vůz s digitální technologií, B – vůz s konvenční technologií

Tato relativní odchylka v přesnosti parkování může být snadno vysvětlena behaviorálními aspekty spojenými s užíváním zpětných zrcátek během parkovacího manévru. Během couvání do parkovacího prostoru se řidič spoléhá především na vizuální informace poskytované zpětnými zrcátky k odhadu vzdálenosti k vozidlu za sebou. Tento závislý způsob používání zpětných zrcátek ovlivňuje schopnost řidiče správně odhadnout vzdálenost a může vést k větším odchylkám, zejména při použití digitálních zrcátek. Na druhou stranu, řidiči také využívají další vizuální referenční body, jako je poloha zaparkovaných vozidel před nimi, aby mohli posoudit rotaci svého vozidla vzhledem k linii ostatních vozidel. Podobný přístup je patrný i při hodnocení vzdálenosti od chodníku, kdy řidič méně využívá zpětná zrcátka a více se zaměřuje na celkové zarovnání vozidla s ostatními zaparkovanými vozy. Tento způsob vnímání prostoru během manévru snižuje význam použití zrcátek v tomto konkrétním kontextu.

Rozdíl v přesnosti při odhadu mezery před a za vozidlem, který jednoznačně vyšel v neprospěch digitálních zpětných zrcátek, lze vysvětlit v souladu s výsledky předchozích studií. Tyto studie identifikovaly neschopnost správně odhadnout vzdálenost k vozidlům zobrazeným v digitálních zrcátkách jako jeden z nejzávažnějších problémů při jejich používání. Tento deficit v prostorovém vnímání je pravděpodobně způsoben rozdílem mezi reálným a digitálně zprostředkovaným obrazem, což vede k nepřesnostem ve vnímání vzdáleností, a tím i k vyšší pravděpodobnosti chyby při parkování. Hodnocení rozdílů mezi konvenčními a digitálními zpětnými zrcátky pro kolmý parkovací manévr v závislosti na přesnosti parkování (viz Tab. 18).

Tabulka 18: Hodnocení rozdílů mezi zrcátky pro kolmé parkování (přesnost)

	Přední mezera C–F	Zadní mezera G–H	Vzdálenost od obrubníku abs (Y-K)
Rozdíl průměrných odchylek abs(A)-abs(B)	22,5 cm	23,9 cm	-2,7 cm
Směrodatná odchylka	22,2 cm	26,2 cm	13,2 cm
p-hodnota	>0,01	>0,01	0,91
Statistická závislost	Potvrzeno	Potvrzeno	Nepotvrzeno

Poznámka: A – vůz s digitální technologií, B – vůz s konvenční technologií

Výsledky uvedené v tabulce 18 ukazují, že přesnost kolmého parkování vykazuje statisticky významné rozdíly ve dvou klíčových parametrech: v přední a zadní vzdálenosti vozidla od ostatních zaparkovaných aut. Řidiči, kteří používali digitální zpětná zrcátka, vykazovali větší průměrnou chybu, přičemž tato činila o 22,5 cm více u přední vzdálenosti a o 23,9 cm více u zadní vzdálenosti v porovnání s řidiči používajícími konvenční zrcátka. Naopak v případě vzdálenosti od chodníku nebyl zjištěn žádný statisticky významný rozdíl mezi těmito dvěma technologiemi zpětných zrcátek, což naznačuje, že vliv technologie na přesnost v této dimenzi je zanedbatelný.

Je zřejmé, že v případech, kdy je řidič nucen orientovat se výhradně na základě informací poskytovaných obrazem, lze tuto relativní odchylku snadno vysvětlit realistickým přístupem řidiče k používání zpětných zrcátek během parkovacího manévru. Při couvání do parkovacího prostoru je řidič zcela závislý na obraze poskytovaném zpětnými zrcátky, což ovlivňuje jeho odhad vzdálenosti k vozidlům za ním. Řidič však také využívá jiné vizuální informace, jako je poloha zaparkovaných vozidel před ním, k posouzení rotace svého vozidla vůči linii zaparkovaných vozidel. Totéž platí pro vzdálenost k chodníku, kde se řidič nesnaží tolik určit optimální vzdálenost, ale spíše zajistit, aby jeho vozidlo přesně zapadlo mezi ostatní zaparkovaná vozidla. Použití zpětných zrcátek pro tento manévr je tedy minimální.

Na základě výše uvedených dat lze konstatovat, že při použití digitálních zpětných zrcátek v porovnání s konvenčními zrcátky existují významné rozdíly jak v čase potřebném k provedení parkovacích manévrů, tak v jejich přesnosti. Je třeba zdůraznit, že řidiči, kteří se spoléhali na digitální zrcátka, celkově dosahovali statisticky významně horších výsledků než ti, kteří používali tradiční zrcátka.

5.3 Předjíždění

Předjížděcí úloha byla z organizačního hlediska rozhodně nejsložitější, protože se do jejího provedení zapojovalo velké množství proměnných, které nebylo možné ovlivnit. Jednalo se zejména o podmínku naprosté synchronizace všech tří vozidel, která se na testu podílela a dále synchronizaci této skupiny s dronem, který zaznamenával pozici vozidel v konkrétních situacích. V důsledku těchto proměnných došlo k dalšímu snížení počtu účastníků testu, kteří mohli být zařazeni do finálního zpracování. V rámci předjížděcí úlohy byla zpracována data od celkem 76 respondentů. Stejně jako u parkovacích úloh, ani zde nebylo možné zjišťovat závislosti naměřených dat na pohlaví vzhledem k tomu, že podíl žen v testovaném, respektive finálním datovém vzorku byl nedostatečný.

5.3.1 Bezpečnost předjíždění

Pro vyhodnocení předjížděcích manévru byl, jako první, vybrán parametr vzdálenosti, mezi předjížděným a předjíždějícím vozidlem, jak je popsáno v kapitole 4.3. Obě části manévru, tedy nájezd do levého pruhu, jako začátek předjíždění a návrat do pravého pruhu, byly v tomto případě hodnoceny samostatně, vzhledem k tomu, že v praxi může být mezi oběma manévry značná časová mezera a oba dva manévry se tak v praxi navzájem neovlivňují.

V tabulce 19 jsou uvedeny hodnoty pro první část manévru pro obě testovací vozidla. Rozdíl mezi vzdáleností předjížděného a předjíždějícího vozidla s digitálním nebo konvenčním zrcátkem je v průměru 2,75 m v neprospěch vozidla s konvenčními zpětnými zrcátky, jak je uvedeno v tabulce 21. V tabulce 20 jsou uvedeny hodnoty pro druhou část manévru pro obě testovací vozidla. Rozdíl mezi vzdáleností předjížděného a předjíždějícího vozidla s digitálním nebo konvenčním zrcátkem je v průměru dokonce 3,07 m, opět v neprospěch vozidla s konvenčními zpětnými zrcátky, jak je uvedeno v tabulce 21.

Naměřená data byla pro potřeby statistického vyhodnocení nejprve podrobena testu normálního rozdělení s využitím Jarque-Bera testu normality [134], který prokázal, že data nevykazují parametry normálního rozdělení. Nelze proto použít parametrické testy, jako například Studentův t-test, použitý pro vyhodnocení závislostí u akomodační úlohy. Vzhledem k tomu byl pro validní statistické porovnání rozdílů mezi technologiemi

zrcátek zvolen neparametrický Wilcoxonův párový test [135], který je vhodný pro analýzu dat, která nevyhovují požadavkům normality.

Na základě statistického vyhodnocení, za pomoci Wilcoxonova párového testu [135] na hladině významnosti 0,05, lze konstatovat, že rozdíly, uvedené v tabulce 21, jsou statisticky významné. Lze tedy zamítnout nulovou variantu, že data, získaná z vozidla s digitálními a konvenčními zpětnými zrcátky na sobě nezávisí. Statistická závislost byla nezávisle potvrzena pro obě části předjížděcího manévru.

Tabulka 19: Vzdálenosti mezi vozy č. 1 a „T“ při nájezdu do levého pruhu

Digitální zrcátka – vozidlo A [m]			Konvenční zrcátka – vozidlo B [m]		
D1A1	D1A2	D1A průměr	D1B1	D1B2	D1B průměr
6,36	6,31	6,34	8,94	9,25	9,09

Poznámka: D1A1 a D1A2 jsou dvě průměrné hodnoty vzdálenosti při nájezdu vozidla do levého pruhu.

D2A1 a D2A2 jsou dvě průměrné hodnoty vzdálenosti při návratu vozidla do pravého pruhu.

Tabulka 20: Vzdálenosti mezi vozy č. 1 a „T“ při návratu do pravého pruhu

Digitální zrcátka – vozidlo A [m]			Konvenční zrcátka – vozidlo B [m]		
D2A1	D2A2	D2A průměr	D2B1	D2B2	D2B průměr
7,08	7,09	7,08	10,55	9,75	10,15

Poznámka: D1A1 a D1A2 jsou dvě průměrné hodnoty vzdálenosti při nájezdu vozidla do levého pruhu.

D2A1 a D2A2 jsou dvě průměrné hodnoty vzdálenosti při návratu vozidla do pravého pruhu.

Tabulka 21: Rozdíl hodnot vzdáleností mezi vozy č. 1 a „T“ s oběma druhy zpětných zrcátek a statistické vyhodnocení

n = 76	Průměr	Směrodatná odchylka	P-hodnota
D1A-D1B [m]	-2,75	-2,28	> 0,01
D2A-D2B [m]	-3,07	-2,63	> 0,01

5.3.2 Čas fixace na jednotlivá zrcátka

Pro vyhodnocení předjížděcích manévru byl, jako druhý, vybrán parametr celkového, kumulativního času, který potřeboval řidič vozidla pro získání všech informací ze zpětných zrcátek, jak je popsáno v kapitole 4.3. Obě části manévru, tedy nájezd do levého pruhu, jako začátek předjíždění a návrat do pravého pruhu, byly i v tomto případě hodnoceny samostatně, vzhledem k tomu, že v praxi může být mezi oběma manévry značná časová mezera a oba dva manévry se tak v praxi ani v tomto případě navzájem neovlivňují.

V tabulce 22 jsou uvedeny všechny hodnoty pro obě testovací vozidla. Celková doba fixace, v průběhu první části předjížděcího manévru, byla u levého digitálního zrcátka o 0,25 s delší než u zrcátka konvenčního. U druhé části předjížděcího manévru byla celková doba fixace u digitálního zrcátka o 0,12 s delší než u zrcátka konvenčního.

Naměřená data byla pro potřeby statistického vyhodnocení nejprve podrobena testu normálního rozdělení s využitím Jarque-Bera testu normality [134], který prokázal, že data nevykazují parametry normálního rozdělení. Nelze proto použít parametrické testy, jako například Studentův t-test, použitý pro vyhodnocení závislosti u akomodační úlohy. Vzhledem k tomu byl pro validní statistické porovnání rozdílů mezi technologiemi zrcátek zvolen neparametrický Wilcoxonův párový test [135], který je vhodný pro analýzu dat, která nevyhovují požadavkům normality.

Na základě statistického vyhodnocení, za pomoci Wilcoxonova párového testu [135] na hladině významnosti 0,05, lze konstatovat, že rozdíly uvedené v tabulce 22 jsou statisticky významné. Lze tedy zamítnout nulovou variantu, že data, získaná z vozidla s digitálními a konvenčními zpětnými zrcátky na sobě nezávisí. Statistická závislosti byla nezávisle potvrzena pro rozdíly u levého i pravého zrcátka, ačkoliv je potřeba konstatovat, že statistická závislosti při porovnání pravých zrcátek je hraniční.

Tabulka 22: Průměrné hodnoty celkové doby fixace obrazu při předjíždění

Celková doba fixace obrazu	Průměr	Rozdíl	Směrodatná odchylka	P-hodnota
Konvenční levé [s]	1,98	0,25 s (12 %)	1,11	0,031
Digitální levé [s]	2,23		1,04	
Konvenční pravé [s]	1,85	0,12 s (6,5 %)	0,91	0,046
Digitální pravé [s]	1,97		1,06	

5.4 Dotazníky

Výsledky získané během měření byly podrobeny statistickému zpracování a analýze pomocí kontingenčních tabulek a Pearsonův chí-kvadrát testem, přičemž byla nastavena hladina významnosti na 0,05. Pro zajištění a vyšší přesnosti v interpretaci identifikovaných závislostí, byla dále implementována metoda upravených reziduí. Jak vysvětluje McHugh [124], „Pearsonův chí-kvadrát test“ je statistický test významnosti, který je neparametrický (nezávislý na rozdělení) nástroj určený k analýze rozdílů mezi skupinami. Tato neparametrická statistická metoda nevyžaduje předpoklad rovnosti rozptylů mezi studijními skupinami v datech. Tato statistická technika umožňuje lépe analyzovat a interpretovat odchylky mezi očekávanými a skutečnými výsledky, čímž přispívá k hlubšímu pochopení struktury dat a vztahů mezi proměnnými. Použití upravených reziduí může odhalit případné nesrovnalosti a poskytuje důležitou informaci o tom, jak jednotlivé pozorování ovlivňují celkové statistické modely. Tímto způsobem se zvyšuje robustnost závěrů a důvěryhodnost výsledků získaných z provedené analýzy. Tato metodologie poskytla detailnější pohled na statistické vztahy a umožnila lépe identifikovat významné trendy.

Při testování hypotéz je p-hodnota pravděpodobnost, že získáme výsledky testu, které jsou alespoň tak extrémní, jak jsou výsledky skutečně pozorovány. Velmi malá p-hodnota znamená, že takto extrémní pozorovaný výsledek by byl velmi nepravděpodobný podle nulové hypotézy [125]. Cramerovo V je vzájemná korelace mezi proměnnými. Cramerovo V se vyjadřuje jako hodnota mezi 0 (nula) a 1 (jedna). Čím bližší je hodnota 1, tím vyšší je korelace mezi proměnnými a naopak [115]. Hodnota Cramerova V se používá k určení, zda existuje relativně silná nebo slabá asociace mezi závislostmi [113]. Dále byla použita metoda upravených reziduálů pro další zjemnění a lepší interpretaci nalezených závislostí. Tabulky 24 až 32 ukazují výsledky se statistickými parametry a hodnocením, zda existovala statistická závislost na specifických vstupních datech.

V následujících tabulkách jsou prezentovány pouze výsledky, které vykázaly statisticky významné závislosti, což usnadňuje zaměření se na klíčové poznatky a závěry této studie.

Pro účely vyhodnocení shromážděných dat byly dotazníky konsolidovány do devíti otázek, které jsou uvedeny v tabulce 23. Tento systematický přístup umožnil efektivně analyzovat vztahy mezi demografickými faktory a vnímáním technologických inovací v oblasti automobilového průmyslu.

Tabulka 23: Otázky použité pro sběr klinických dat

Otázka	Popis	Odpovědi		
		možnost 1	možnost 2	možnost 3
A	Co je nejpřesnějším vyjádřením celkového dojmu z digitálních zrcátek?	zajímavé	neutrální	zklamání
		103 (59 %)	60 (34 %)	13 (7 %)
B	Vyhovovala vám poloha displeje?	ano	ne	-
		104 (59 %)	72 (41 %)	-
C	Kolik jste ochotni zaplatit jako volitelný příplatek za technologii digitálních zrcátek?	méně než 200 €	více než 200 €	-
		104 (59 %)	72 (41 %)	-
D	Byla celková bezpečnost technologie digitálních zrcátek dostatečná?	bezpečné	neutrální	nebezpečné
		55 (31 %)	86 (49 %)	35 (20 %)
E	Bylo parkování s digitálním zrcátkem bezpečné?	bezpečné	neutrální	nebezpečné
		58 (33 %)	98 (56 %)	20 (11 %)
F	Bylo předjíždění s digitálním zrcátkem bezpečné?	bezpečné	neutrální	nebezpečné
		67 (39 %)	90 (51 %)	19 (10 %)
G	Byli jste si jisti zobrazením? (Uveďte prosím, jak moc jste důvěřovali digitálnímu obrazu na displeji)	věřím	částečně věřím	nevěřím
		96 (55 %)	52 (29 %)	28 (16 %)
H	Zlepšilo vám používání technologie digitálních zrcátek při řízení den?	Spíše ano	neutrální	Spíše ne
		32 (18 %)	64 (36 %)	80 (46 %)
I	Uvítali byste více dalších funkcí v zrcátkách?	spíše ano	spíše ne	-
		120 (68 %)	56 (32 %)	-

5.4.1 Závislost pocitu z digitálních zrcátek na sociodemografických údajích

Naměřená data byla podrobena analýze zaměřené na možné korelace s vybranými sociodemografickými údaji respondentů, přičemž byly zohledněny proměnné jako místo bydliště, věk, úroveň vzdělání, denní dojíždění do práce, používání dioptrických brýlí či počet celkově ujetých kilometrů. Zjištěné závislosti ukazují, že lidé, kteří žijí ve větším městě, jsou k této technologii obecně více pozitivní než lidé, kteří žijí v menších městech nebo na vesnicích. Jak je vidět ve výsledcích, více lidí s vyšším vzděláním více ocenilo schopnost technologie digitálních zrcátek. To lze vysvětlit větší mírou jejich představitosti v oblasti dostupných technologií, ale také celkovou náklonností technicky vzdělaných respondentů (viz Tab. 24).

Tabulka ukazuje závislosti celkového pocitu účastníků z technologie digitálních zrcátek (otázka A z tabulky 23) na parametrech řidiče uvedených v tabulkách 3 a 4 (kapitola 4.4) hodnocené pomocí Pearsonova chí-kvadrát testu.

Tabulka 24: Závislost celkového pocitu z technologie na parametrech řidiče

Parametry řidiče	χ^2	Kritická hodnota	P-hodnota	Cramerovo V	Závislosti
Místo bydliště	11,8	3,84	0,001	0,26	Ano
Věk	2,97	3,84	0,085	0,13	Ne
Úroveň vzdělání	8,10	3,84	0,004	0,22	Ano
Denní dojíždění do práce	2,61	3,84	0,106	0,12	Ne
Dioptrické brýle	2,12	3,84	0,145	0,11	Ne
Počet ujetých km celkově	3,43	3,84	0,064	0,14	Ne

V testovací skupinu výrazně dominovali muži a převaha vysokoškolsky vzdělaných technických absolventů (128 ku 48), jejichž přirozený zájem směřuje k moderním technologiím (viz Tab. 4). Celkově 59 % účastníků označilo celkový pocit z technologie digitálních zrcátek při předjíždění za zajímavý, 34 % za neutrální a 7 % zklamání (viz Tab. 24).

5.4.2 Závislost mezi umístěním displejů a velikostí bydliště

Byly zjištěny významné statistické závislosti u otázky související s umístěním displeje.

Výsledky ukazují závislost mezi velikostí bydliště a umístěním displeje. Byla zjištěna vysoká závislost mezi umístěním displeje DSM a místem bydliště účastníka, protože je vyšší pravděpodobnost vyšší hustoty dopravy ve větších městech a potřeba časté adaptace s opakovanými změnami dopravních podmínek, zatímco v menších městech není nutné používat zrcátka tak často. Z analýzy však vyplývá, že umístění displeje způsobilo určité potíže pro respondenty, kteří byli diagnostikováni s oční vadou nebo používali dioptrické brýle (viz Tab. 25). Většina účastníků s úrovní vzdělání střední školy uvedla jako své místo bydliště menší město, což ukazuje na synergii se závislostí na bydliště. Celkově bylo 59 % účastníků spokojeno s umístěním displeje. Tabulka 25 ukazuje závislost polohy displeje (otázka B z tabulky 23) na parametrech řidiče, jak je uvedeno v tabulkách 3 a 4 (kapitola 4.4), vyhodnoceno pomocí Pearsonova chí-kvadrát testu.

Tabulka 25: Závislost polohy displeje na parametrech řidiče

Parametry řidiče	χ^2	Kritická hodnota	P-hodnota	Cramerovo V	Závislosti
Místo bydliště	6,02	3,84	0,014	0,37	Ano
Věk	1,20	3,84	0,272	0,17	Ne
Úroveň vzdělání	4,01	3,84	0,045	0,30	Ano
Denní dojíždění do práce	3,13	3,84	0,077	0,27	Ne
Dioptrické brýle	9,90	3,84	0,002	0,47	Ano
Počet ujetých km celkově	0,05	3,84	0,831	0,03	Ne

5.4.3 Závislost ceny za technologii digitálních zrcátek na věku

Účastníci obecně nebyli ochotni zaplatit vysokou cenu za technologii digitálních zrcátek jako dodatečné vybavení, která činí v průměru přibližně 300 €. Z výsledků bylo zřejmé, že mladší řidiči byli ochotni zaplatit vyšší cenu ve srovnání se staršími řidiči (viz Tab. 3 a Tab. 26). Lze argumentovat, že řidiči, kteří pravidelně cestují, pravděpodobně považují vozidlo spíše za běžnou spotřební věc a nejsou tedy ochotni investovat vysokou částku do volitelného vybavení, jako je technologie digitálních zrcátek. Celkově bylo 59 % účastníků ochotno zaplatit méně než 200 € a 41 % účastníků (viz Tab. 24) bylo ochotno zaplatit za tuto technologii více než 200 € jako příplatkovou výbavu do vozidla. Tabulka 24 ukazuje závislost ceny za technologii digitálních zrcátek (otázka C z tabulky 23) na parametrech řidiče, jak je uvedeno v tabulkách 3 a 4 (kapitola 4.4). Závislost byla hodnocena pomocí Pearsonova chí-kvadrát testu.

Tabulka 26: Závislost ceny za technologii digitálních zrcátek na parametrech řidiče

Parametry řidiče	χ^2	Kritická hodnota	P-hodnota	Cramerovo V	Závislosti
Místo bydliště	0,38	3,84	0,540	0,09	Ne
Věk	5,45	3,84	0,020	0,35	Ano
Úroveň vzdělání	0,56	3,84	0,453	0,11	Ne
Denní dojíždění do práce	0,13	3,84	0,723	0,05	Ne
Dioptrické brýle	0,54	3,84	0,462	0,11	Ne
Počet ujetých km celkově	6,12	3,84	0,013	0,37	Ano

5.4.4 Závislost bezpečnosti technologie digitálních zrcátek na věku

Dle zjištěných dat od účastníků lze konstatovat, že 31 % z nich považovalo tuto technologii za obecně bezpečnou, 20 % ji za bezpečnou nepovažovalo a 49 % respondentů vyjádřilo neutrální postoj. Je možné diskutovat, zda pocit bezpečnosti ovlivňuje kvalita technologie použité ve výzkumu. Technologie digitálních zrcátek použita v tomto výzkumu měla latenci obrazu, která byla však ještě lepší ve srovnání s Audi E-tron. Snížení latence obrazu a zlepšení vizuálních parametrů kamery a displeje může vést k možnému zlepšení bezpečnosti řidičů. Na základě potvrzení závislosti (viz Tab. 27) lze argumentovat, že více než dvě třetiny vysokoškolsky vzdělaných účastníků tuto technologii nepovažují za bezpečnou. Otázkou je, zda lze toto hodnotit jako důsledek vyšší představitivosti možných bezpečnostních rizik s ohledem na úroveň a typ vzdělání těchto účastníků. Tento potenciální vztah by zasloužil samostatné vyšetření. Účastníci s kompenzovanými očními vadami nehodnotí technologii jako bezpečnou, což lze zvážit jako důsledek obecně horší čitelnosti digitálních displejů při použití brýlí. Tabulka ukazuje závislost celkové bezpečnosti technologie digitálních zrcátek (otázka D z tabulky 23) na parametrech řidiče, jak je uvedeno v tabulkách 3 a 4 (kapitola 4.4). Závislost byla hodnocena pomocí Pearsonova chí-kvadrát testu.

Tabulka 27: Závislost celkové bezpečnosti digitálních zrcátek na parametrech řidiče

Parametry řidiče	χ^2	Kritická hodnota	P-hodnota	Cramerovo V	Závislosti
Místo bydliště	0,35	3,84	0,554	0,04	Ne
Věk	3,10	3,84	0,078	0,13	Ne
Úroveň vzdělání	7,53	3,84	0,006	0,21	Ano
Denní dojíždění do práce	2,67	3,84	0,102	0,12	Ne
Dioptrické brýle	3,91	3,84	0,048	0,15	Ano
Počet ujetých km celkově	1,35	3,84	0,245	0,09	Ne

5.4.5 Závislost bezpečnosti při parkování

Obdobně jako v případě celkového pocitu bezpečí při používání technologie digitálních zrcátek, 33 % zúčastněných považovalo tuto technologii při parkování za obecně bezpečnou, 11 % ji za bezpečnou nepovažovalo a 56 % respondentů cítilo neutrální postoj (viz Tab. 28). Tabulka 26 ukazuje závislost bezpečnosti při parkování (otázka E z tabulky 23) na parametrech řidiče, jak je uvedeno v tabulkách 3 a 4 (kapitola 4.4). Závislost byla hodnocena pomocí Pearsonova chí-kvadrát testu.

Tabulka 28: Závislost bezpečnosti při parkování na parametrech řidiče

Parametry řidiče	χ^2	Kritická hodnota	P-hodnota	Cramerovo V	Závislosti
Místo bydliště	2,62	3,84	0,105	0,12	Ne
Věk	0,21	3,84	0,643	0,03	Ne
Úroveň vzdělání	0,16	3,84	0,693	0,03	Ne
Denní dojíždění do práce	8,80	3,84	0,003	0,22	Ano
Dioptrické brýle	3,08	3,84	0,079	0,13	Ne
Počet ujetých km celkově	7,12	3,84	0,008	0,20	Ano

5.4.6 Závislost bezpečnosti při provádění předjížděcího manévru

Ačkoliv i v případě dynamického testu 39 % účastníků považuje technologii digitálních zrcátek za zcela bezpečnou, 10 % účastníků se necítilo bezpečně během dynamického testu. Je zřejmé, že i v případě dynamického testu je tato technologie považována za zcela bezpečnou pro řidiče s kompenzovanými očními vadami (viz Tab. 29). Tabulka 29 ukazuje závislost bezpečnosti při provádění předjížděcího manévru (otázka F z tabulky 23) na parametrech řidiče, jak je uvedeno v tabulkách 3 a 4 (kapitola 4.4). Závislost byla hodnocena pomocí Pearsonova chí-kvadrát testu.

Tabulka 29: Závislost bezpečnosti při předjížděcím manévru na parametrech řidiče

Parametry řidiče	χ^2	Kritická hodnota	P-hodnota	Cramerovo V	Závislosti
Místo bydliště	0,01	3,84	0,903	0,01	Ne
Věk	0,10	3,84	0,757	0,02	Ne
Úroveň vzdělání	2,62	3,84	0,105	0,12	Ne
Denní dojíždění do práce	3,34	3,84	0,067	0,14	Ne
Dioptrické brýle	4,71	3,84	0,030	0,16	Ano
Počet ujetých km celkově	2,02	3,84	0,156	0,11	Ne

5.4.7 Závislost důvěry v obraz na parametrech řidiče

Počet účastníků 96 (55 %), kteří důvěřují obrazu poskytovanému digitálními zrcadly, je poněkud v rozporu s očekáváním, zejména ve srovnání s pocitem bezpečnosti při používání této technologie. Tento rozpor však lze vysvětlit tím, že účastníci jednoduše důvěřují technologii, aniž by si uvědomovali, že poskytovaný obraz může být zobrazen s určitou latencí ve srovnání s realitou. Účastníci nebyli před testováním záměrně na tuto skutečnost upozorněni, aby to neovlivnilo jejich úsudek. Je však třeba poznamenat, že v případě latence 0,5 s je zobrazen zpožděný stav, během něhož vozidlo vybavené digitálními zrcadly, například při pohybu rychlostí $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, ujede 15 m. Otázkou zůstává, jak by na tuto situaci řidiči reagovali, kdyby o této skutečnosti věděli předem. Tento parametr by však stál za hlubší prozkoumání v samostatném výzkumu.

Dle získaných hodnot značná část řidičů, kteří při jízdě používají dioptrické brýle, tuto technologii nepovažovala za zcela bezpečnou (viz Tab. 30). Tabulka 30 ukazuje závislost důvěry v digitální obraz (otázka G z tabulky 23) na parametrech řidiče, jak je uvedeno v tabulkách 3 a 4 (kapitola 4.4). Závislost byla hodnocena pomocí Pearsonova chí-kvadrát testu.

Tabulka 30: Závislost důvěry v digitální obraz na parametrech řidiče

Parametry řidiče	χ^2	Kritická hodnota	P-hodnota	Cramerovo V	Závislosti
Místo bydliště	1,36	3,84	0,244	0,09	Ne
Věk	1,16	3,84	0,281	0,08	Ne
Úroveň vzdělání	0,01	3,84	0,944	0,01	Ne
Denní dojíždění do práce	1,42	3,84	0,233	0,09	Ne
Dioptrické brýle	3,97	3,84	0,046	0,15	Ano
Počet ujetých km celkově	1,59	3,84	0,207	0,10	Ne

5.4.8 Závislost používání digitálních zrcátek při řízení na pocitech

Pouze 18 % účastníků na dotaz, zda používání technologie digitálních zrcátek při řízení zlepšilo jejich den, odpovědělo spíše ano, 36 % mělo neutrální pocity a 46 % účastníků odpovědělo spíše ne. Starší řidiči se cítili pohodlněji a ochotněji ocenili větší zapojení asistenčních systémů, i když jim plně nevěřili a nepovažovali je za bezpečné. Mladší řidiči obecně oceňovali jiné parametry vozidla než množství a technologickou úroveň asistenčních systémů. Lidé s vyšším vzděláním ocenili technologii digitálních zrcátek (viz Tab. 31). To lze vysvětlit větší mírou představitivosti v oblasti dostupných technologií, ale také celkovou náklonností technicky vzdělaných respondentů. Současně však odpověděli, že používání technologie digitálních zrcátek by jejich jízdu nijak neusnadnilo. To lze vysvětlit tím, že je pro ně vozidlo každodenním nástrojem, prostředkem k dopravě z domu do práce a zpět. Tabulka 31 ukazuje závislost používání technologie digitálních zrcátek při řízení na pocitech zlepšení dne účastníků (otázka H z tabulky 23) na parametrech řidiče, jak je uvedeno v tabulkách 3 a 4 (kapitola 4.4). Závislost byla hodnocena pomocí Pearsonova chí-kvadrát testu.

Tabulka 31: Závislost používání DZ při řízení na pocitech účastníků

Parametry řidiče	χ^2	Kritická hodnota	P-hodnota	Cramerovo V	Závislosti
Místo bydliště	0	3,84	1	0	Ne
Věk	15,52	3,84	0	0,30	Ano
Úroveň vzdělání	5,86	3,84	0,015	0,18	Ano
Denní dojíždění do práce	2,67	3,84	0,102	0,12	Ne
Dioptrické brýle	3,83	3,84	0,500	0,15	Ne
Počet ujetých km celkově	3,90	3,84	0,048	0,15	Ano

5.4.9 Závislost dodatečných funkcí v zrcátkách na parametrech řidiče

V tomto případě je pravděpodobné, že starší řidiči mohou být ochotnější ocenit větší zapojení asistenčních systémů, i když na základě předchozích zjištění těmto technologiím plně nedůvěřují a nepovažují je za zcela bezpečné. Mladší řidiči naopak pravděpodobněji ocení jiné parametry vozidla než technologickou úroveň a množství asistenčních systémů. Jak vyplývá ze statistické závislosti, lidé s vyšším vzděláním mají větší schopnost ocenit technologii digitálních zrcátek. To lze vysvětlit větší mírou představivosti v oblasti dostupných technologií, ale také celkovou afinitou technicky vzdělaných respondentů k moderním technologiím.

Je zřejmé, že drtivá většina účastníků 120 (68 %) by ocenila rozšíření funkcí testované technologie, včetně asistentů pro předjíždění, odhadů vzdálenosti, grafiky parkovací asistence a dalších integrovaných nástrojů. Proces sběru dat a jejich následné statistické zpracování byly provedeny na vysoké úrovni, přičemž většina shromážděných dat byla ověřena jako platná. Tato data mohou sloužit jako základ pro další výzkum nebo pro vývoj nových výrobních řešení. Tabulka 32 ukazuje závislost dodatečných funkcí v zrcátkách (otázka I z tabulky 23) na parametrech řidiče, jak je uvedeno v tabulkách 3 a 4 (kapitola 4.4). Závislost byla hodnocena pomocí Pearsonova chí-kvadrát testu.

Tabulka 32: Závislost dodatečných funkcí v zrcátkách na parametrech řidiče

Parametry řidiče	χ^2	Kritická hodnota	P-hodnota	Cramerovo V	Závislosti
Místo bydliště	1,68	3,84	0,195	0,1	Ne
Věk	0	3,84	0,964	0	Ne
Úroveň vzdělání	10,06	3,84	0,002	0,24	Ano
Denní dojíždění do práce	0,56	3,84	0,455	0,06	Ne
Dioptrické brýle	0,10	3,84	0,756	0,02	Ne
Počet ujetých km celkově	1,5	3,84	0,220	0,09	Ne

5.5 Expertní posouzení použití u nákladních vozů a zemědělské techniky

V rámci této disertační práce bylo ověření technologie digitálních zrcátek primárně zaměřeno na segment osobních vozidel. Tento přístup byl zvolen s ohledem na organizační jednoduchost testování, dostupnost technologie a větší rozšířenost digitálních zrcátek v tomto segmentu. Použití osobních vozidel umožnilo efektivnější realizaci experimentů, a to díky snadnější přepravě na zkušební polygon a dostupnosti dvou identických vozidel, což bylo nezbytné pro porovnání výsledků za stejných podmínek.

Pro rozšíření relevance výsledků by však testování technologie u nákladních vozů vyžadovalo specifický přístup. Pro validní výsledky by bylo nutné zapojit pouze profesionální řidiče, kteří jsou obeznámeni s manipulací s tímto typem vozidla, mají zkušenosti s jeho velikostí a charakteristikami a nejsou ovlivněni prvotním seznámením s nákladními vozidly. Taková skupina respondentů by zajistila eliminaci faktorů vyplývajících z nedostatku zkušeností, které by mohly zásadně ovlivnit výsledky.

Pro doplnění primárního výzkumu byly provedeny expertní analýzy zaměřené na technologii digitálních zrcátek v nákladních vozidlech a zemědělských strojích. Tato analýza zahrnovala testovací jízdy s vozy Mercedes-Benz Actros a John Deer 8R 370 za různých světelných a povětrnostních podmínek a dále konzultace s profesionálními řidiči a obsluhou strojů.

Po konzultacích s prof. MUDr. Jiřím Řehákem, CSc., a Ing. Martinem Fůsem, Ph.D., bylo na základě provedených experimentů dosaženo závěru, že technologie digitálních zrcátek se v nákladních vozidlech ukázala jako efektivnější a lépe přizpůsobená specifickým provozním požadavkům.

Tento závěr vychází z několika klíčových hledisek:

1. Větší vzdálenost displejů od očí řidiče.

Displeje v nákladních vozidlech jsou umístěny dále od očí řidiče, což snižuje potřebu časté akomodace lidského oka a zkracuje akomodační amplitudu. Díky tomu je obraz vnímán přirozeněji, což přispívá ke snížení zrakové únavy a zlepšuje ergonomii řízení.

2. Výhodné umístění kamer.

Kamery jsou obvykle umístěny výše na vozidle, což umožňuje širší zorný úhel a lepší pokrytí prostoru za vozidlem. Tato výhoda je obzvláště důležitá při manévrování s velkými nákladními vozidly, kde může standardní zrcátko omezit zorné pole. Výše umístěná kamera také umožňuje přirozenější interpretaci obrazu, jehož kvalita a optické parametry se velmi přibližují obrazu, který poskytují konvenční zpětná zrcátka. Tento aspekt je velmi důležitý a tento parametr se, bohužel, nedá dosáhnout v případě použití zkoumané technologie u osobních vozidel.

3. Zlepšení zorného pole vlivem umístění displejů.

Displeje mohou být instalovány před A-sloupek kabiny, což optimalizuje zorné pole řidiče. Nahrazení konvenčních vnějších zrcátek kamerami snižuje mrtvé úhly a zlepšuje výhled z kabiny.

V zemědělských strojích se digitální zrcátka rovněž ukázala jako funkční alternativa, kde negativní aspekty použití této technologie jsou vyvažovány množstvím pozitivních přínosů. Díky větším kabinám a širším možnostem umístění kamer i displejů dochází také u zemědělských strojů k podstatnému rozšíření zorného pole. Umístění displejů dále od očí řidiče, stejně jako u nákladních vozidel, přispívá k pohodlnějšímu a přirozenějšímu vnímání obrazu. Souhrn pozitivních aspektů lze možné obecně hodnotit podobně, jako v případě nákladních vozidel.

Technologie digitálních zrcátek u nákladních vozidel a v zemědělské technice bezesporu nabízí jisté výhody oproti tradičním zrcátkům. Hlavními přínosy jsou zlepšení úrovně ergonomie, částečná eliminace mrtvých úhlů a s tím spojená optimalizace zorného pole řidiče. Pro plnohodnotné testování v těchto segmentech by však bylo nutné realizovat rozsáhlejší studii zahrnující větší počet profesionálních řidičů, kteří jsou obeznámeni s tímto typem techniky. Výsledky těchto testů by mohly přispět k dalšímu rozvoji technologie a její širší aplikaci v různých typech vozidel a strojů.

5.6 Diskuze

5.6.1 Akomodace

Výsledky měření ukázaly, že rychlost čtení textu při použití levého konvenčního zrcátka byla vyšší než u digitálního zrcátka umístěného na stejné straně vozidla, přičemž naměřený rozdíl v čase činil 0,061 s. Tento rozdíl lze interpretovat jako čas potřebný k akomodaci oka při zaostřování z dálky na vzdálenost přibližně 0,5 m.

Podobně, rozdíl v čase mezi pravým konvenčním zrcátkem a pravým digitálním zrcátkem byl 0,098 s, opět ve prospěch konvenčního zrcátka. Zajímavým zjištěním je, že čas potřebný na akomodaci byl v tomto případě delší než u levého zrcátka, což může být překvapivé, protože oko muselo ostřit na delší vzdálenost, přibližně 1 m. Logicky by se dalo předpokládat, že doba akomodace by měla být kratší, vzhledem k menší potřebě akomodace. Toto prodloužení doby může být způsobeno několika faktory, včetně vzdálenosti displeje od hlavy řidiče, což znamená, že písmo na digitálním zrcátku bylo v porovnání s konvenčním zrcátkem menší a potenciálně obtížněji čitelné.

Pro podrobnější pochopení praktického významu změřených časových rozdílů je užitečné převést tyto časy na ujetou vzdálenost při různých povolených maximálních rychlostech platných v České republice, konkrétně $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ v obci, $90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ mimo obec a $130 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ na dálnici. Takové srovnání může poskytnout cenné informace o potenciálních rizicích a reakcích řidičů v reálných podmínkách. V tabulce 7 jsou uvedeny ujeté vzdálenosti v závislosti na časových rozdílech při čtení textu v konvenčních a digitálních zrcátkách. Například u pravého digitálního zrcátka, kde je delší doba potřebná pro přečtení textu, dochází při rychlosti $130 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ k prodloužení ujeté vzdálenosti o přibližně 3,5 m.

Ačkoliv se tento rozdíl může na první pohled jevit jako marginální, prodloužení reakční doby může mít významný dopad na bezpečnost silničního provozu. V situacích, kdy řidič musí rychle reagovat na změny v okolním prostředí, může i malý nárůst ujeté vzdálenosti mezi vozidly představovat zásadní faktor, jak popisují například Tibor Mocsári ve své studii *Analysis of the Overtaking Behaviour of Motor Vehicle Drivers (2009)* [136], nebo Aurenice Cruz Figueira a Ana Paula C. Larocca v jejich studii *Analysis of the factors influencing overtaking in two-lane highways (2020)* [137]. Například v kritických situacích, jako je náhlé brzdění nebo nečekaná překážka na vozovce, může delší reakční doba způsobená prodlouženým časem na čtení textu

znamenat rozdíl mezi úspěšným zvládnutím situace a nehodou. Jedná se například o situace, předcházející hromadným nehodám, kdy řidič vepředu jedoucího vozidla musí reagovat nejenom na překážku před sebou, ale také na situaci za vozidlem, která může být v důsledku stejně fatální. Jde například o situace za zhoršených povětrnostních podmínek, jako je sníh a náledí, kdy mohou vozidlo ohrožovat i zezadu přijíždějící nákladní vozidla, jejichž brzdná dráha může být zřetelně delší než u osobního vozu. Tento aspekt podtrhuje důležitost efektivní a rychlé interpretace informací z obou typů zrcátek, což je klíčové pro zajištění bezpečnosti na silnicích. Tento aspekt podporuje například studie *Exploring the impact of truck traffic on road segment-based severe crash proportion using extensive weigh-in-motion data*, publikovaná v roce 2023 v časopise *Safety Science* [138].

Optimální využití digitálních zrcátek by mohlo být omezeno na jejich aplikaci na pravé straně vozidla, přičemž by bylo nezbytné umístit displej pravého zrcátka ve stejné, zrcadlově obrácené pozici jako je obvyklé umístění displeje levého zrcátka (např. ve střední části palubní desky). Takové řešení by zajistilo, že čas potřebný k přečtení informací z pravého digitálního zrcátka by byl srovnatelný s dobou nutnou pro levé zrcátko, čímž by se eliminovala nutnost otáčení hlavy doprava. V důsledku toho by výsledný čas byl ovlivněn výhradně akomodací oka, podobně jako v případě levého digitálního zrcátka.

Čas potřebný k získání informací z levého digitálního zrcátka je kratší než doba nutná k použití pravého konvenčního zrcátka. Tento výsledek naznačuje, že doba akomodace oka při použití levého digitálního zrcátka je kratší než čas potřebný pro otočení hlavy k pravému konvenčnímu zrcátku. Výsledky naznačují, že věk a pohlaví nemají významný vliv na rychlost čtení textu. Nicméně, mezi pravým digitálním a konvenčním zrcátkem byl zaznamenán statisticky významný rozdíl v době čtení, a to především u mužů.

Je důležité zdůraznit, že experiment byl prováděn v kontrolovaných, ideálních podmínkách, které nebyly ovlivněny nepříznivými vnějšími faktory, jako jsou déšť, sníh nebo tma, jež by mohly zvýhodnit konvenční zrcátka. Studie se zaměřovala na statické testování, kde byl text předem zobrazen na displejích. V reálných podmínkách by však bylo nutné zohlednit latenci všech systémů podílejících se na přenosu obrazu na displej, což by mohlo mít vliv na výsledky měření.

Dále je potřeba zdůraznit, že výše uvedené výsledky vychází z testů, opakovaných pouze v několika cyklech. Je potřeba zmínit, že v případě dlouhodobé expozice a velkého množství opakovaných cyklů, se mohou výsledky výrazně zhoršovat, což potvrzuje například studie *Changes in accommodation with visual fatigue among digital device users*, publikovaná v roce 2022 [139].

5.6.2 Parkování

Výsledky získané z experimentálního hodnocení využití digitálních a konvenčních zpětných zrcátek během parkovacích manévru byly zpracovány pomocí kontingenčních tabulek a analýzy pomocí Pearsonova chí-kvadrát testu na hladině významnosti 0,05. Dále byla využita metoda upravených reziduí pro přesnější analýzu vztahů mezi sledovanými proměnnými.

Data uvedená v tabulce 16 potvrzují statisticky významné rozdíly v rychlosti parkování mezi digitálními a konvenčními zrcátky, a to v závislosti na typu parkovacího manévru. Řidiči, kteří používali digitální zpětná zrcátka, potřebovali na dokončení podélného parkování o 6,9 s více než řidiči využívající konvenční zrcátka. Podobný trend byl pozorován i při kolmém parkování, kde byla průměrná doba delší o 4,3 s ve prospěch tradičních zrcátek. Tyto výsledky naznačují, že používání digitálních zrcátek může negativně ovlivnit rychlost parkovacích manévru. Tento vliv může být způsoben nutností adaptace na digitální obraz a menší plynulostí prováděných pohybů.

Přestože rozdíl v délce parkování může působit na první pohled relativně nevýznamně, jeho dopad na psychický komfort řidiče nelze podceňovat. Malé zpoždění může zvýšit stres zejména v situacích, které vyžadují rychlou reakci či preciznost. To ukazuje na význam psychologického faktoru při hodnocení použitelnosti této technologie, což se může projevit ve zhoršené efektivitě při parkovacích manévrech, a to odpovídá výsledkům předchozích studií.

Přesnost parkovacích manévru byla hodnocena zejména z hlediska vzdálenosti vozidla před a za ním, přesnosti natočení vozidla a jeho vzdálenosti od obrubníku. V případě podélného parkování byly zjištěny statisticky významné rozdíly v přesnosti u digitálních a konvenčních zrcátek, a to především ve vztahu k mezerám před a za vozidlem. Řidiči používající digitální zrcátka měli průměrnou odchylku o 22,3 cm větší než ti, kteří využívali tradiční zrcátka. Tento rozdíl naznačuje možné problémy s vnímáním vzdálenosti při používání digitálního obrazu.

Analýza kolmého parkování ukázala obdobné výsledky, kdy u řidičů využívajících digitální zpětná zrcátka byla pozorována vyšší průměrná chyba jak v přední (o 22,5 cm), tak v zadní vzdálenosti (o 23,9 cm) ve srovnání s řidiči používajícími tradiční zrcátka. Tento rozdíl však nebyl statisticky významný, pokud jde o přesnost vzdálenosti od obrubníku. Tato zjištění naznačují, že hlavním faktorem ovlivňujícím přesnost je odhad vzdálenosti k vozidlům v okolí, zatímco orientace vozidla vůči statickým objektům (např. chodník) zůstává relativně nezměněná.

Výsledky této studie potvrzují, že při používání digitálních zpětných zrcátek dochází k rozdílům jak v rychlosti, tak v přesnosti parkovacích manévrů. Zaznamenané rozdíly lze do značné míry připsat behaviorálním aspektům řízení. Řidiči, kteří jsou zvyklí na tradiční zrcátka, se často potýkají s problémy při přechodu na digitální technologie, což vede ke zhoršenému výkonu během manévrů. Přesnost odhadu vzdáleností z digitálního obrazu se ukázala jako problematická, což potvrzují i výsledky předchozích studií, které identifikovaly nedostatečnou schopnost správně odhadnout vzdálenost z digitálních zrcátek jako jeden z klíčových faktorů snižujících jejich efektivitu.

Dalším faktorem je psychologická adaptace na nový typ zobrazení, která může u řidičů vyvolávat stresové reakce, zejména při manévrech vyžadujících rychlou a přesnou reakci. Tato nedůvěra k digitálně zprostředkovanému obrazu byla potvrzena subjektivními hodnoceními řidičů, z nichž pouze 55 % vyjádřilo důvěru v jeho přesnost. Výsledky této studie jsou tedy v souladu s dosavadními poznatky o vlivu digitálních technologií na vnímání prostoru a jejich praktickém použití v řízení.

Výsledky této studie do určité míry kontrastují se studií Murata, A. a Kohno, Y. *Effectiveness of replacement of automotive side mirrors by in-vehicle LCD-effect of location and size of LCD on safety and efficiency* z roku 2018 [126], kdy tato studie dospěla k závěru, že efektivita digitálních zpětných zrcátek je srovnatelná s tradičními zrcátky. Tento rozdíl lze vysvětlit odlišným vzorkem respondentů, specifickými podmínkami experimentů nebo technologickým pokrokem v oblasti digitálních zrcátek, ke kterému mohlo dojít mezi jednotlivými studiemi. Další výzkum by měl zahrnout širší spektrum respondentů a zaměřit se na různé aspekty použití digitálních zrcátek, jako je vliv různých typů digitálních displejů či vliv dlouhodobého používání na adaptaci řidičů.

Na základě výsledků této studie je zřejmé, že digitální zpětná zrcátka vykazují některé nevýhody v porovnání s tradičními zrcátky, zejména pokud jde o rychlost

a přesnost parkovacích manévru. Tyto rozdíly by měly být zohledněny při dalším vývoji a implementaci digitálních technologií v automobilovém průmyslu. Důraz by měl být kladen na zlepšení zobrazení digitálního obrazu, zvýšení jeho přesnosti a snížení potřeby adaptace zraku, což by mohlo přispět ke zvýšení bezpečnosti a efektivity řízení. Další výzkum by měl rovněž zahrnovat dlouhodobé sledování adaptace řidičů na digitální technologie a zhodnocení jejich vlivu na psychologický komfort při řízení.

5.6.3 Předjíždění

Výsledky získané z experimentálního hodnocení využití digitálních a konvenčních zpětných zrcátek během předjížděcích manévru byly zpracovány pomocí Wilcoxonova testu [135] na hladině významnosti 0,05. Data byla ještě předtím ověřena za pomoci Jarque–Bera testu, který ověřuje, zda mají data normální rozdělení [134].

Data, uvedená v tabulce 21, potvrzují statisticky významné rozdíly ve vzdálenostech, které si řidiči nechávají při předjížděcím manévru mezi svým, tedy předjížděcím vozidlem a vozidlem předjížděným, v závislosti na tom, zda manévru provádí s vozidlem s digitálními nebo konvenčními zpětnými zrcátky. Řidiči ve vozidle, vybaveném digitálními zrcátky, si nechávali při nájezdu do levého pruhu o 2,75 m menší rozestup od předjížděného vozidla než řidiči ve vozidle s konvenčními zpětnými zrcátky. Během návratu do pravého pruhu si pak řidiči ve vozidle s digitálními zrcátky nechávali dokonce o 3,07 m menší rozestup od předjížděného vozidla.

Tento výsledek lze interpretovat tak, že řidiči ve vozidle s digitálními zrcátky hůře interpretují obraz, který jim displej poskytuje, a nejsou schopni správně odhadovat vzdálenost od předjížděného vozidla. Toto zjištění zajímavě doplňuje výsledky, získané v rámci dotazníkového šetření, kdy 39 % respondentů ze stejné testovací skupiny poskytnutému obrazu zcela důvěřuje.

Data, uvedená v tabulce 22, potvrzují statisticky významné rozdíly v době fixace u levých i pravých zrcátek obou variant. Řidiči ve vozidle s digitálními zrcátky potřebovali na přečtení informace v levém digitálním zrcátku 2,23 s, zatímco v levém konvenčním zrcátku 1,98 s. Pro přečtení informace v pravém digitálním zrcátku potřebovali 1,97 s a v pravém konvenčním 1,85 s. To znamená, že na přečtení informace v levém digitálním zrcátku potřebovali o 0,25 s více času než v levém konvenčním, a v pravém digitálním potřebovali o 0,12 s více času než v pravém konvenčním.

Z pohledu bezpečnosti je nutné výše uvedené naměřené výsledky interpretovat tak, že použití digitálních zrcátek je výrazně méně bezpečné než použití zrcátek konvenčních. Tento závěr vychází z premisy, že pro bezpečné provedení předjížděcího manévru, by si měl řidič nechat vždy dostatečný prostor. Pokud tato zásada nezůstane zachována, může to vést k výraznému snížení míry bezpečnosti silničního provozu, jak opět uvádí například Tibor Mocsári ve své studii *Analysis of the Overtaking Behaviour of Motor Vehicle Drivers (2009)*, [136] nebo Aurenice Cruz Figueira a Ana Paula C. Larocca v jejich studii *Analysis of the factors influencing overtaking in two-lane highways (2020)* [137].

5.6.4 Dotazníkové šetření

Vzhledem k účasti převážně technicky vzdělaných studentů, pedagogů a odborníků z automobilového průmyslu lze výsledky studie považovat za vysoce relevantní a odborně významné. Kromě kvantitativních dat, která zahrnovala přesná měření parametrů, byla získána také kvalitativní data prostřednictvím strukturovaných vstupních a výstupních dotazníků. Tyto dotazníky poskytly účastníkům prostor pro sdílení komentářů, návrhů a doporučení, což umožnilo identifikovat potenciální nedostatky testované technologie a přispět k jejímu dalšímu zlepšení. Tato zpětná vazba představuje klíčový zdroj informací pro další technologický rozvoj a optimalizaci funkcionality, s cílem zvýšit uživatelskou spokojenost a bezpečnost.

Výsledky jasně prokazují existenci několika významných statistických závislostí mezi položkami z dotazníků a daty uvedenými v tabulkách 3 a 4 (viz kapitola 4.4). Tato kvalitativní analýza poskytuje cenné poznatky o vztahu mezi uživatelskými zkušenostmi řidičů s technologií digitálních zrcátek, což má zásadní význam pro vývoj nových automobilových inovací. Na základě těchto zjištění lze konstatovat, že přijetí nové technologie závisí nejen na chronologickém věku, ale také na kognitivních charakteristikách uživatele [127].

HONG, S. J. v rámci své studie *How old are you really? Cognitive age in technology acceptance* [127] z roku 2013 realizoval experimenty s jedinci ve středním věku (30–40 let), kteří projevovali odlišný přístup k novým technologiím, což odpovídá závěrům této disertační práce. Výsledky naznačují, že řidiči starší 35 let vykazují vyšší míru opatrnosti a nedůvěry vůči inovativním technologiím, jak je vidět v závislostech uvedených v tabulkách 24 až 32. Tento jev lze vysvětlit obecně nižší důvěrou v moderní

technologie a možným konzervatismem starších uživatelů [127]. K velmi podobným závěrům došel i Jack Stilgoe, ve své studii *What does it mean to trust a technology?* [39], publikované v roce 2023 v časopise Science. Stilgoe zde uvádí, na příkladu autonomních vozidel, že důvěra veřejností v moderních technologie z oblasti automotive v průběhu doby spíše klesá.

Data byla shromážděna a analyzována na vysoké úrovni odbornosti; většina údajů byla ověřena jako validní a výsledky poskytují pevný základ pro další výzkum a vývoj produktů. Díky účasti technicky vzdělaných odborníků z automobilového sektoru mají tyto výsledky značnou váhu. Kromě kvantitativních údajů byla získána i kvalitativní zpětná vazba prostřednictvím vstupních a výstupních dotazníků, kde měli účastníci možnost formulovat své připomínky a návrhy, upozorňovat na nedostatky a navrhnout zlepšení testované technologie.

6 VYHODNOCENÍ CÍLŮ A HYPOTÉZ

Na základě výsledků a ověření výzkumných dat bylo možné potvrdit splnění všech stanovených cílů disertační práce.

1. **Komplexní posouzení použitelnosti technologie digitálních zrcátek ve vozidlech** a její vliv na kognitivní funkce řidiče, s ohledem na ergonomii a bezpečnost provozu. Cíl **byl naplněn** díky experimentální studii zahrnující simulace jízdních situací a analýzu reakcí.
2. Ověření **rychlosti a přesnosti při parkování** za použití konvenčních a digitálních zrcátek **potvrdilo** hypotézu o rozdílech ve výkonnosti řidičů při těchto manévrech. Výsledky ukázaly, že digitální zrcátka mají dopad na dobu a přesnost parkovacích úkonů.
3. Posouzení rozdílů v **míře bezpečnosti při předjíždění** poskytlo statisticky významné údaje o snížené bezpečnosti při používání digitálních systémů.
4. Analýza **vlivu sociodemografických parametrů na přijetí technologie digitálních zrcátek** **prokázala**, že různé skupiny řidičů reagují odlišně na nové technologie.
5. Expertní posouzení použití technologie u nákladních vozů a zemědělské techniky prokázalo, že posuzovaná technologie **je, u těchto typů vozidel a strojů, použitelná** a že pozitivní aspekty zkoumané technologie v těchto případech vyvažují její negativa.

Dalším důležitým výsledkem výzkumu bylo rozšíření znalostní základny v oblasti digitálních zrcátek a poskytnutí konkrétních doporučení pro jejich další vývoj, jež jsou založena na experimentálně ověřených datech a mají potenciál podpořit inovace v této oblasti.

Všechny stanovené hypotézy byly v rámci výzkumu potvrzeny:

1. **Hypotéza č. 1** byla **potvrzena**, protože bylo **prokázáno**, že použití digitálních zrcátek negativně ovlivňuje ergonomii řízení a snižuje bezpečnost provozu ve srovnání s konvenčními zrcátky.
2. **Hypotéza č. 2:** byla **potvrzena**, jelikož bylo **prokázáno**, že při parkovacích manévrech existuje statisticky významný rozdíl v rychlosti a přesnosti při používání digitálních zrcátek oproti konvenčním.

3. **Hypotéza č. 3:** byla **potvrzena**, neboť bylo **prokázáno**, že digitální zrcátka snižují úroveň bezpečnosti při předjíždění, což může mít zásadní vliv na provozní bezpečnost.
4. **Hypotéza č. 4:** byla **potvrzena**, protože analýza dat **prokázala**, že sociodemografické charakteristiky ovlivňují postoj řidičů k používání digitálních zrcátek, což může být klíčové při plánování implementace těchto technologií do praxe.

7 ZÁVĚR

Hlavním cílem práce bylo posouzení použitelnosti technologie digitálních zrcátek ve vozidlech a jejich vlivu na lidské vnímání z hlediska ergonomie a bezpečnosti provozu. Díky exaktně naměřeným hodnotám bylo možno statisticky vyhodnotit velké množství předem určených parametrů, jež ovlivňují lidské vnímání zobrazovaného obrazu a následně i kognitivní funkce řidiče. Po naměření hodnot byly výsledky zanalyzovány pomocí statistických metod a byly vyhodnoceny všechny obrazové materiály, které byly získány při provádění testovacích úloh účastníky. **Hlavního cíle i dílčích cílů této práce bylo dosaženo.**

Výzkum byl rozdělen do pěti částí, jimiž jsou hodnocení vizuální akomodace při používání digitálních zrcátek, experimentální studie zaměřená na rychlost a přesnost při parkovacích a předjížděcích manévrech, analýza preferencí řidičů na základě dotazníkového šetření a expertní posouzení použití zkoumané technologie u nákladních vozidel a zemědělských strojů. Výše uvedené závěry byly potvrzeny na základě konzultace s odborníky v oblasti optometrie a očního lékařství.

V první části zaměřené na akomodaci zrakového systému, výsledky potvrdily statisticky významné rozdíly v rychlosti akomodace při čtení údajů z konvenčních a digitálních zrcátek. Ukázalo se, že použití technologie digitálních zrcátek může mít přímý negativní vliv na bezpečnost silničního provozu, zejména v kombinaci s dalšími negativními efekty vyplývajícími z technické povahy zkoumané technologie, jako je například zpoždění obrazu u digitálních displejů a potřebě neustálé akomodace lidského oka při přechodu mezi pohledem na displej a na silnici. Tyto negativní jevy mohou být dále kombinovány s postojem řidiče, daným jeho kognitivními funkcemi. Na základě výše uvedených dat lze tvrdit, že použití digitálních zrcátek zhoršuje ergonomii řízení ve srovnání s konvenčními zrcátky a zvyšuje riziko nehody ve srovnání s konvenčními zrcátky, což potvrzuje **hypotézu č. 1.**

Výzkum rovněž naznačuje, že po dosažení věku 35-40 let dochází k postupnému fyziologickému zhoršení akomodační schopnosti, což může mít dopad na schopnost řidičů efektivně používat digitální zrcátka. Přestože statistické závislosti v této oblasti nebyly prokázány u všech respondentů, je pravděpodobné, že věk hraje důležitou roli v kvalitě akomodace. Výsledky, napříč všemi testovacími úlohami potvrdily, že starší řidiči a ti, kteří mají určitou zrakovou vadu, mají tendenci považovat digitální zrcátka

za méně bezpečnou technologii ve srovnání s konvenčními zrcátky. Používání brýlí může v některých případech omezit šířku zorného pole, zejména u brýlí s širokými obrubami nebo specifickými čočkami, což může ovlivnit schopnost vnímat objekty v okrajových částech zorného pole. Další omezení brýlovými obrubami hraje významnou roli ve fyziologickém omezení zorného pole, zejména v temporálním směru, tedy v oblastech umístění zrcátek. Současně (v závislosti na konstrukci brýlových čoček) dochází k deformacím a aberacím na jejich okrajových částech. Tím pádem ani standardní zpětná zrcátka nemusí být vhodná pro řidiče se zrakovou vadou; a v souvislosti s nároky digitálních zrcátek na zrakový systém pravděpodobně zesilují pocit nepohodlí.

Dále mohou řidiči čelit výzvám, jako je oslnění displeje, vizuální únava způsobená přestřováním či snížené zorné pole. Standardní zrcadlový odraz, který je virtuálním obrazem v nekonečnu, nezatěžuje zrakový systém tak, jako obraz na displeji, který vyžaduje aktivní akomodaci oka. Tato skutečnost může být pro některé řidiče nepříjemná, zejména v případě déle trvajícího řízení. Častá, vynucená akomodace způsobená krátkou vzdáleností displejů v kabině osobních vozidel vůči poloze očí řidiče může vést k nadměrnému namáhání zraku při řízení, což zásadně zvyšuje riziko únavy a snížení pozornosti, čímž ohrožuje bezpečnost provozu.

Výsledky této části práce mají významné implikace pro vývoj a optimalizaci digitálních zrcátek, zejména s ohledem na umístění displejů a jejich ergonomické přizpůsobení řidičům různých věkových kategorií. Sbírání dat a statistické zpracování byly provedeny s vysokou přesností a validitou. Získané výsledky a z nich vyplývající poznatky mohou být obecně použity pro všechny typy vozidel, včetně nákladních automobilů, zemědělských strojů apod. Poznatky mohou být využity pro další výzkum nebo vývoj výrobních řešení.

Práce nemá za cíl jednoznačné zamítnutí zkoumané technologie, ale je nezbytné zmínit všechny identifikované negativní aspekty, které by mohly ovlivnit použití této technologie a tím mít dopad na bezpečnost silničního provozu.

Druhá část výzkumu byla zaměřena na posouzení použitelnosti technologie digitálních bočních zrcátek v oblasti rychlosti a přesnosti parkování a předjíždění. Výsledky ukázaly, že řidiči byli při používání konvenčních zrcátek rychlejší a přesnější ve srovnání s digitálními zrcátky. Tento fakt podporuje argument, že konvenční zrcátka jsou v tomto ohledu bezpečnější a uživatelsky přívětivější. Na základě výše uvedených dat lze tvrdit, že mezi rychlostí a přesností při parkovacích manévrech za používání

konvenčních nebo digitálních zrcátek je statisticky významný rozdíl, což potvrzuje **hypotézu č. 2 a č. 3**. S ohledem na získaná data tvrdit, že použití digitálních zrcátek snižuje rychlost a přesnost při parkování a při předjíždění ve srovnání s konvenčními zrcátky.

Ačkoliv tato technologie přináší inovace, kterými jsou např. zlepšení aerodynamiky, snížení hluku nebo integrace pokročilých funkcí (např. detekce mrtvého úhlu, asistence při parkování a předjíždění), zůstává stále pro některé řidiče méně praktická. Konvenční zrcátka jsou v tomto ohledu bezpečnější a mají vyšší úroveň použitelnosti než digitální zrcátka.

Dotazníkové šetření poskytlo cenné primární údaje od relativně homogenní skupiny účastníků. Rozdělením dat pomocí kontingenčních tabulek a použitím metody upravených reziduí bylo zjištěno, že existují statisticky významné závislosti mezi preferencemi dotazovaných řidičů a jejich antropometrickými a sociologickými parametry. Je však třeba podotknout, že počet nalezených závislostí je relativně malý a jsou patrné především v oblastech, kde se hodnotí vliv věku nebo místa bydliště na celkovou bezpečnost a přijetí. Současně všichni účastníci by podle svých preferencí ocenili pokrok v automobilovém sektoru a inovativnost této nové technologie, bez ohledu na konkrétní kategorii osobního automobilu. Lze také tvrdit, že pro statisticky významnou skupinu účastníků jsou stále konvenční zrcátka první a jedinou možnou volbou. Výsledky tohoto výzkumu poskytují jasné důkazy o tom, že existuje faktor závislosti na věku v souvislosti s přijetím technologie digitálních zrcátek. Více než 66 % dotázaných účastníků mělo pocit, že technologie digitálních zrcátek není bezpečná. Z celkového vzorku účastníků bylo 56 % starších než 35 let. Je jasně patrné, že tito řidiči vykazují vyšší míru opatrnosti a nedůvěry. To může být vysvětleno obecně nižší důvěrou v moderní technologie a možná také vyšší mírou konzervatismu. Na základě výše uvedených dat lze tvrdit, že přijetí této technologie v konvenčních osobních automobilech je ovlivněno sociodemografickými parametry, jako je věk, jízdní zkušenosti a technická zdatnost řidiče, což potvrzuje **hypotézu č. 4**. Starší řidiči, a ti s vyšším počtem ujetých kilometrů, prokazatelně vykazují nižší ochotu přijmout novou technologii ve srovnání s mladšími řidiči. Velmi důležitým faktem je, že řidiči neradi mění své návyky při řízení. Přechod od konvenčních zrcátek k této technologii ovlivňuje celkové pohodlí řidičů používajících vozidlo s konvenčními zrcátky.

Ačkoliv byly získané odpovědi primárně spojeny s testováním v prostředí osobních automobilů, technologie digitálních zrcátek vykazuje značný potenciál aplikace i v sektorech zemědělských a stavebních strojů či nákladních vozidel. V těchto oblastech může být její přínos výraznější, především díky možnosti zmírnění negativních vlivů, které vyplývají z fyzikální podstaty popsané technologie. Zatímco u osobních automobilů jsou displeje relativně blízko očí řidiče, což zhoršuje ergonomii a vizuální komfort, u nákladních a zemědělských strojů vzhledem k rozměrům kabin toto umístění není tak problematické, jelikož jsou displeje umístěny dále od obsluhy. Vzhledem k této větší vzdálenosti se vynucená akomodace pohybuje v menším intervalu. Rovnováha mezi přínosy a omezeními umožňuje širší implementaci technologie v odlišných provozních podmínkách, kde specifické výzvy mohou být lépe řešeny díky její adaptabilitě. Výsledky této práce poskytují podněty pro budoucí zkoumání rozdílů v akomodaci, vizuálním vnímání a ergonomii digitálních zrcátek, a to nejen u osobních automobilů, ale také u nákladních a zemědělských strojů. Práce zdůrazňuje potřebu pokračovat v dalším výzkumu a hledání optimalizace této technologie, aby se zajistilo její plné a bezpečné využití v každodenním řízení.

Přidáním funkcí, jako je detekce mrtvého úhlu, asistence/ukazatele odhadu vzdálenosti atd., může být bezpečnost řidičů exponenciálně zlepšena. Další funkce, jako je nahrávání dopravních incidentů/nehod pro zlepšení bezpečnosti silničního provozu, by mohly být potenciálním polem pro budoucí výzkum. Nízká kvalita obrazu a následné zobrazování za špatných klimatických podmínek mohou být zlepšeny pomocí podrobnějšího výzkumu a vývoje. Přestože je technologie digitálních zrcátek již komerčně dostupná a implementována v sériové výrobě, stále existuje nedostatek empirických studií, které by systematicky analyzovaly a kvantifikovaly údaje získané v reálných dopravních situacích, zejména během parkovacích manévrů, kdy je tato technologie řidiči aktivně využívána.

Současně však již byly v minulosti publikovány studie, např. *Investigation of automotive digital mirrors ergonomics through laser shadowgraphy and driver's real-road test questionnaire* (2021) [128], *A comparative evaluation of in-vehicle side view displays layouts in critical lane changing situation* (2017) [129] či *Effects of display position of a visual in-vehicle task on simulated driving* (2006) [130] o použití kamerových systémů jako zpětných zrcátek, které uvádějí přínosy na silnici a praktické zkušenosti řidičů s touto technologií.

Autoři těchto studií se více či méně shodují na tom, že použitelnost této technologie a její dopad na bezpečnost silničního provozu jsou stále předmětem diskuse a vyžadují další podrobný výzkum.

Technologie digitálních zrcátek má jistě svůj potenciál přinést pokrok v oblasti bezpečnosti a ergonomie řízení vozidel, nicméně v současné podobě vykazuje jednoznačně horší výsledky nejen z pohledu ergonomie, ale především z medicínského hlediska, kdy zvyšuje riziko potenciálního ohrožení zdraví řidičů. Její zavedení do širokého používání jistě a nezbytně vyžaduje další výzkumy a optimalizaci.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HÄNE, C., HENG, L., LEE, G. H., FRAUNDORFER, F., FURGALE, P., SATTLER, T., POLLEFEYS, M. 3D visual perception for self-driving cars using a multi-camera system: Calibration, mapping, localization, and obstacle detection. *Image and Vision Computing*. 2017, 68, s. 14–27. DOI: 10.1016/j.imavis.2017.07.003.
- [2] PAYANDEHMEHR, B., PLACZKOWSKA, M. Digital mirrors. Stockholm: *KTH*, 2015.
- [3] HRUŠKA, M., JINDRA, P. Ability to handle unfamiliar systems in passenger cars according to driver skills. *Agronomy Research*. 2016, 14(5), s. 1601–1608.
- [4] EDWARDS, C., HANKEY, J., KIEFER, R., GRIMM, D., LEASK, N. Understanding driver perceptions of a vehicle to vehicle (V2V) communication system using a test track demonstration. *SAE International Journal of Passenger Cars – Mechanical Systems*. 2011, 4(1), s. 444–461. DOI: 10.4271/2011-01-0577.
- [5] HUHTAMO, E. The self-driving car: A media machine for posthumans? *Artnodes*. 2020, 26, s. 1–14. DOI: 10.7238/a.v0i26.3374.
- [6] LOGAN, N. S., ADHAKRISHNAN, H., CRUICKSHANK, F. E., ALLEN, P. M., BANDELA, P. K., DAVIES, L. N., HASEBE, S., KHANAL, S., SCHMID, K. L., VERA-DIAZ, F. A., WOLFFSOHN, J. S. IMI Accommodation and Binocular Vision in Myopia Development and Progression. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2021, 62(4). DOI: 10.1167/iovs.62.5.4.
- [7] BENJAMIN, W. J. *Borish's Clinical Refraction*. 2nd ed. Elsevier Health Sciences, 2006, s. 178–199. ISBN 978-0-7506-7524-6.
- [8] SULLIVAN, J. M. *Visual Fatigue and the Driver* (Report No. UMTRI-2008-50). Ann Arbor: University of Michigan, Transportation Research Institute, 2008.
- [9] BABU, S. S., POVÝŠIL, J., HRUŠKA, M., VACULÍK, P., BENDA, P., ZIFIA, A. M., FÜS, M. Assessment of the new digital side mirror technology from driver's subjective point of view considering traffic safety. *Acta Technologica Agriculturae*. 2022, 25(3), s. 122–130. DOI: 10.2478/ata-2022-0019.
- [10] LARGE, D. R., CRUNDALL, E., BURNETT, G., HARVEY, C., KONSTANTOPOULOS, P. Driving without wings: The effect of different digital

- mirror locations on the visual behavior, performance, and opinions of drivers. *Applied Ergonomics*. 2016, 55, s. 138–148. DOI: 10.1016/j.apergo.2016.02.003.
- [11] PAMPEL, S. M., SOUTHEY, T. J. R., BURNETT, G. Understanding the distraction and behavioral adaptations of drivers when experiencing failures of digital side mirrors. *IET Intelligent Transport Systems*. 2020, 14(7), s. 775–782. DOI: 10.1049/iet-its.2019.0673.
- [12] REGAN, M. A., STRAYER, D. L. Towards an understanding of driver inattention: Taxonomy and theory. *Annals of Advances in Automotive Medicine*. 2014, 58, s. 5–14.
- [13] National Highway Traffic Safety Administration. *Visual-manual NHTSA driver distraction guidelines for in-vehicle electronic devices* (NHTSA-2010-0053). 2013.
- [14] SCHUMANN, J., SIVAK, M., FLANNAGAN, M. J. Are driver-side convex mirrors helpful or harmful? Ann Arbor: *University of Michigan Transportation Research Institute*, 1996.
- [15] DEWAR, R. E., FENNO, D., GARVEY, P. M., KUHN, B. T., ROBERTS, A. W., SCHIEBER, F., VINCENT, A., YANG, C. Y. D., KIM, Y. B. User information systems: Developments and issues for the 21st century. In: *Transportation in the New Millennium: State of the Art and Future Directions* (CD-ROM). Transportation Research Board of the National Academies, 2000.
- [16] National Highway Traffic Safety Administration. *Vehicle backover avoidance technology study: Report to Congress*. Washington, D.C.: National Highway Traffic Safety Administration, U.S. Department of Transportation, 2006.
- [17] HUCHO, W. F., SOVRAN, G. Aerodynamics of road vehicles. *Annual Review of Fluid Mechanics*. 1993, 25, s. 485–537.
- [18] RICKESH, T. N., NAVEEN, V. B., AUGMENTED, V. B. Reality solution to the blind spot issue while driving vehicles. In: *Recent Advances in Intelligent Computational Systems (RAICS)*. IEEE, 2011.
- [19] HOLLNAGEL, E., KÄLLHAMMER, J. E. Effects of a night vision enhancement system (NVES) on driving: Results from a simulator study. In: *Second International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design*. 2003, s. 152–157.

- [20] CACHA, C. A. *Ergonomics and safety in hand tool design*. 1st ed. CRC Press, 1999. DOI: 1-56670-308-5.
- [21] SALVENDY, G. *Handbook of human factors and ergonomics*. 4th ed. Wiley, 2012. DOI: 978-0-470-52838-9.
- [22] BISHE, V. D. *Ergonomics in the automotive design process*. 1st ed. CRC Press, 2011. DOI: 14-398-4210-8.
- [23] Co je ergonomie? [online]. *BOZPinfo.cz*. [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/co-je-ergonomie>.
- [24] CHUNDELA, L. *Ergonomie*. 1. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02301-X.
- [25] NIS – ergonomie. [online]. [cit. 2024-11-17]. Dostupné z: <http://www.n-i-s.cz/cz/ergonomie/page/19/>.
- [26] Vnímání a předvídavý způsob jízdy: BESIP. [online]. [cit. 2024-11-17]. Dostupné z: <https://besip.gov.cz/Clanky/Vnimani-a-predvidavy-zpusob-jizdy>.
- [27] Lidské oči: Vidění.cz. [online]. [cit. 2024-11-17]. Dostupné z: <http://www.videni.cz/oko/4-oci>.
- [28] Zrak: Lidské smysly. [online]. [cit. 2024-11-17]. Dostupné z: <http://www.lidske-smysly.wbs.cz/Zrak.html>.
- [29] ČIHÁK, Radomír. *Anatomie*. 1. vydání. Praha: Grada, 1997. ISBN 80-7169-140-2.
- [30] KVAPILÍKOVÁ, Květa. *Anatomie a embryologie oka*. 1. vydání. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. ISBN 80-7013-313-9.
- [31] DYLEVSKÝ, Ivan. *Funkční anatomie*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009. ISBN 9788024732404.
- [32] Stavba oka: Encyklopedie fyziky. [online]. [cit. 2024-11-17]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/486-stavba-oka>.
- [33] KOLÍN, Jan. *Oční lékařství*. 2., přeprac. vyd. Praha: Karolinum, 2007. ISBN 978-80-246-1325-3.
- [34] KUCHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. 1. vyd. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [35] HROMÁDKOVÁ, Lada. *Šilhání*. 3. vyd., nezměn. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2011. ISBN 978-80-7013-530-3.

- [36] Jak vlastně funguje lidské oko [online]. [cit. 2024-11-16]. Dostupné z: <https://www.rehabilitace.info/lidske-telo/jak-vlastne-funguje-lidske-oko/>
- [37] KUŽELOVÁ, T. DP: *Teoretická a praktická problematika ergoterapie v léčbě a rehabilitaci nemocných s chronickým onemocněním* [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/358703/lf_m/DP_Kuzelova.pdf
- [38] COQ, R., NEVEU, P., PLANTIER, J., & LEGRAS, R. Accommodative response and visual fatigue following a non-congruent visual task in non-asthenopic and asthenopic individuals. *Ophthalmic & Physiological Optics*, 2024, 44(5), 925–935. DOI: 10.1111/opo.13304.
- [39] STILGOE, J. (2023). What does it mean to trust a technology? *Science*, 382, eadm9782. <https://doi.org/10.1126/science.adm9782>.
- [40] ROZSÍVAL, Pavel. *Oční lékařství*. 1. vyd. Praha: Galén, 2006. ISBN 80-246-1213-5.
- [41] ANTON, Milan. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*. 3. přeprac. vyd. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004. ISBN 80-701-3402-x.
- [42] AUTRATA, Rudolf. *Nauka o zraku*. 1. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2002. ISBN 80-701-3362-7.
- [43] Scheinerův pokus [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js21/fyziologie/web/pages/26_scheineruv_pokus.html
- [44] BEZDEKOVÁ, Š. Vyhodnocení kvality zraku u uživatelů digitálních technologií (Bakalářská práce, České vysoké učení technické v Praze). *DSpace ČVUT*. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/74848/FBMI-BP-2017-Bezdekova-Stepanka-prace.pdf>
- [45] BASS, Michael. Handbook of Optics. 3rd ed. Washington: *Optical Society of America*, 2009. ISBN 978-0-471-71255-7.
- [46] FOWLES, Grant R. Introduction to Modern Optics. 2nd ed. *Boston: Dover Publications*, 1989. ISBN 978-0-486-65764-0.
- [47] BACH, Michael J. Automotive Lighting and Human Vision. Berlin: *Springer*, 2018. ISBN 978-3-319-76965-4.
- [48] NILSEN, Jens P. Ergonomics in the Automotive Industry. London: *CRC Press*, 2014. ISBN 978-1-4665-5497-2.

- [49] BARLOW, Jason S. R. T. (ed.). *Adaptive Optics: Principles, Techniques, and Applications*. Boca Raton: *CRC Press*, 2013. ISBN 978-1-4398-3153-5.
- [50] Optika – zobrazení [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/maturitni-otazka-fyzika-zobrazeni-cocky-zrcadla-pristroje>
- [51] Encyklopedie fyziky [online]. [cit. 2024-11-17]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/481-zobrazeni-tenkou-cockou>
- [52] JI, QIANG A DAN WITZNER HANSEN. In the Eye of the Beholder: A Survey of Models for Eyes and Gaze. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2009, 32(3), 478–500. DOI: 10.1109/TPAMI.2009.30.
- [53] Eye Tracker head unit with moulded facemask [online]. [cit. 2024-11-17]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Eye-Tracker-head-unit-with-moulded-facemask-The-cameras-are-mounted-laterally-to_fig1_10919121
- [54] MAJARANTA, Päivi, Hirotaka AOKI, Mick DONEGAN, Dan Witzner HANSEN, John Paulin HANSEN, Aulikki HYRSKYKARI a Kari-Jouko RÄIHÄ. *Gaze Interaction and Applications of Eye Tracking*. *IGI Global*, 2012. ISBN 9781613500989. Dostupné z: DOI: 10.4018/978-1-61350-098-9.
- [55] Eyetracker warns against momentary driver drowsiness [online]. [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/en/press-media/2010/grossbild/pi68_IDMT%20Eyetracker_g.jpg
- [56] Indian-origin researcher develops phone-based eye tracking system [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.indiatvnews.com/business/india-indian-origin-researcher-develops-phone-based-eye-tracking-system-335159>
- [57] Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK/OSN): Jednotná ustanovení pro schvalování zařízení pro nepřímý výhled a motorových vozidel z hlediska montáže těchto zařízení. In: *Předpisy EHK/OSN, č. 46*. New York: Organizace spojených národů, 2014. [online]. [cit. 2024-11-16]. Dostupné z: [http://data.europa.eu/eli/reg/2010/46\(2\)/oj](http://data.europa.eu/eli/reg/2010/46(2)/oj)
- [58] Jak správně nastavit zpětná zrcátka v autě: co byste měli vidět a nevidět [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.autozive.cz/jak-spravne-nastavit-zpetna-zrcatka-v-aute-co-byste-meli-videt-a-nevidet/>
- [59] ECE R46. Economic Commission for Europe (ECE). *Uniform Provisions Concerning the Approval of Devices for Indirect Vision and of Motor Vehicles*

- with Regard to the Installation of These Devices. 2014. *United Nations Economic Commission for Europe*. Dostupné z: <https://unece.org>
- [60] FMVSS 111. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). FMVSS 111: Rear Visibility. 2023. *United States Department of Transportation*. Dostupné z: <https://www.nhtsa.gov>
- [61] JIS D0205. Japanese Standards Association (JSA). JIS D0205: Japanese Standard for Rearview Mirrors in Motor Vehicles. 2002. *Japanese Industrial Standards*. Dostupné z: <https://www.jsa.or.jp>
- [62] Digital vision technology by Gentex [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.gentex.com/products-technology/automotive/digital-vision/>
- [63] Cadillac CT6 rearview mirror camera [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.wired.com/2016/11/cadillac-ct6-rearview-mirror-camera/>
- [64] Feature spotlight: The 2016 Cadillac CT6's rear camera washer system [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://gmauthority.com/blog/2016/02/feature-spotlight-the-2016-cadillac-ct6s-rear-camera-washer-system/>
- [65] New Cadillac sedan features 360-degree exterior camera system, rear-seat entertainment system [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.autoblog.com/2015/09/22/cadillac-ct6-360-degree-camera-system/>
- [66] New Range Rover Evoque – The Design (image 17) [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.carbodydesign.com/gallery/2018/11/new-range-rover-evoque-the-design/17/>
- [67] New Range Rover Evoque – The Design (image 4) [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.carbodydesign.com/gallery/2018/11/new-range-rover-evoque-the-design/4/>
- [68] Land Rover ClearSight [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.carmagazine.co.uk/car-news/tech/land-rover-clearsight>
- [69] Ford Transit a E-Transit s kamerou v zrcátku [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://vt-auta.cz/ford-transit-a-e-transit-s-kamerou-v-zrcatku/>
- [70] LF-1 Limitless [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.lexus.com/concept/lf-1-limitless/>
- [71] BMW začne v roce 2019 nahrazovat zpětná zrcátka kamerami [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/bmw-zacne-v-roce-2019-nahrazovat-zpetna-zrcatka-kamerami>

- [72] Škoda Vision IV Concept [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://electrek.co/2019/03/05/skoda-vision-iv-concept/>
- [73] Autosalon Ženeva 2019: Živě – Konečně jsme viděli Škodu Vision IV [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/autosalon-zeneva-2019-zive-konecne-jsme-videli-skodu-vision-iv-128059>
- [74] Volkswagen XL1 na vlastní kůži [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: https://www.automobilrevue.cz/rubriky/testy/predstavujeme/volkswagen-xl1-na-vlastni-kuzi_44531.html
- [75] Test Volkswagen XL1: Vítejte v budoucnosti [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/test-volkswagen-xl1-vitejte-v-budoucnosti-88840>
- [76] Volkswagen XL1 [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.autopodbaba.cz/novinka/volkswagen-xl1>
- [77] Lexus ES becomes the first production car to replace outside mirrors with a camera [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.carwale.com/news/lexus-es-becomes-the-first-production-car-to-replace-outside-mirrors-with-a-camera/>
- [78] Zpětná zrcátka nebo zpětné kamery? Bitva začíná [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/zpetna-zrcatka-nebo-zpetne-kamery-bitva-zacina-21001316>
- [79] Lexus ES dostane kamery místo zrcátek [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.svetmobilne.cz/lexus-es-dostane-kamery-misto-zrcatek/6743>
- [80] Lexus nabídne kamery místo zrcátek u sedanu ES [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/lexus-nabidne-kamery-misto-zrcatek-u-sedanu-es-124552>
- [81] Cameras replace mirrors on new Lexus ES model in Japan [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.ctvnews.ca/autos/cameras-replace-mirrors-on-new-lexus-es-model-in-japan-1.4092640>
- [82] Test Audi e-tron: Pozdrav z budoucnosti [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://smartmania.cz/test-audi-e-tron-pozdrav-z-budoucnosti/>
- [83] Jak u Audi e-tron fungují kamery místo zrcátek [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/jak-u-audi-e-tron-funguji-kamery-misto-zrcatek-2511>

- [84] První elektromobil Audi má úctyhodné parametry: už jsme si ho mohli osahat [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://automix.denik.cz/nova-auta/prvni-elektromobil-audi-ma-uctyhodne-parametry-uz-jsme-si-ho-mohli-osahat-20180918.html>
- [85] Jak fungují kamery místo zpětných zrcátek? Vypadá to na další moderní nesmysl [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/zajimavosti/jak-funguji-kamery-misto-zpetnych-zrcatek-vypada-to-na-dalsi-moderni-nesmysl/>
- [86] Honda e Prototype: krásný retro elektromobil s pohonem zadních kol [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/honda-e-prototype-krasny-retro-elektromobil-pohonem-zadnich-kol-urban-ev-127938>
- [87] Esoterikoo [online]. [cit. 2024-11-16]. Dostupné z: <https://topspeed.gr/wp-content/uploads/2022/02/esoterikoo-1024x576.jpg>
- [88] Honda e Prototype je naživo neméně roztomilá [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/autosalon-zeneva-2019-honda-e-prototype-je-nazivo-nemene-roztomila-128099>
- [89] Mercedes-Benz Trucks představil novou verzi tahače Actros L [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://transport-logistika.cz/zpravy/silnicni-doprava/mercedes-benz-trucks-predstavil-novou-verzi-tahace-actros-l/>
- [90] Scania Trucks Get New Interior, Digital Mirrors [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.roadtrains.com.au/news/scania-trucks-get-new-interior-digital-mirrors/>
- [91] Scania Develops Camerasystem to Replace Mirrors [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://iepieleaks.nl/scania-develops-camerasystem-to-replace-mirrors/>
- [92] The latest MAN TGX model surprises with its improved solutions: mirrors are replaced by smart cameras [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://adampolisgroup.lt/en/the-latest-man-tgx-model-surprises-with-its-improved-solutions-mirrors-are-replaced-by-smart-cameras/>
- [93] MAN OptiView – Digital Mirror Replacement System [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.man.eu/global/en/truck/assistance-systems/digital-mirror-replacement-system/man-optiview.html>

- [94] MAN TGX Overview [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.man.eu/global/en/truck/all-models/the-man-tgx/overview/tgx-overview.html>
- [95] MAN OptiView je k dispozici také pro městské autobusy [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.busportal.cz/clanek/man-optimview-je-k-dispozici-take-pro-mestske-autobusy-18032>
- [96] Neoplan Cityliner Brochure [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: https://www.neoplan.com/neoplan/media/en/content_medien/doc/neoplan_master/cityliner/cityliner_broschuere.pdf
- [97] První autobusy s digitálními zrcátky v Česku [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.scania.com/cz/cs/home/about-scania/newsroom/news/2023/prvni-autobusy-s-digitalnimi-zrcatky-v-Cesku.html>
- [98] John Deere Introduces Autonomous Tractor [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.vision-systems.com/astech-autonomy/article/14276604/john-deere-introduces-autonomous-tractor>
- [99] Massey's Vision for the Future [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.profi.co.uk/news/masseys-vision-future/>
- [100] Magnum AFS Connect [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.agrics.cz/produkty/traktory-case-ih/magnum-afs-connect>
- [101] 336 Tier 4 Stage V [online]. [cit. 2024-10-06]. Dostupné z: <https://www.hawthornecat.com/item/336-tier-4-stage-v/>
- [102] Tobii Pro Glasses 2: Tobii [online]. [cit. 2024-11-10]. Dostupné z: <https://www.tobii.com/>
- [103] Sony CyberShot Camera DSC-RX0 Mark II: Alza [online]. [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/sony-cybershot-camera-dsc-rx0-ii-d5580138.htm>
- [104] Feelworld monitor FW570: Megapixel [online]. [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <https://www.megapixel.cz/feelworld-monitor-fw570-1531347632>
- [105] SAE J826. (2008). SAE J826: *Devices for Use in Defining and Measuring Vehicle Seating Accommodation*. SAE International. Dostupné z: <https://standards.sae.org/wip/j826/>

- [106] International Organization for Standardization (ISO). (2017). *ISO 8596:2017* [online]. Geneva: International Organization for Standardization. Dostupné z: <https://www.iso.org/standard/71177.html>
- [107] Muzikus. (2024). *VECT DSR-2x55WT* [online]. Dostupné z: <https://muzikus.sk/cs/vect-dsr-2x55wt-p-35235.html>
- [108] LOCKHART, T. E., & SHI, W. (2010). Effects of age on dynamic accommodation. *Ergonomics*, 53(7), 892–903. DOI: 10.1080/00140139.2010.489968
- [109] Český normalizační institut. (2011). *ČSN 73 6056: 2011. Parkovací místa pro silniční vozidla*. Praha.
- [110] National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). (2010). 49 CFR Parts 571 and 585. *Federal motor vehicle safety standard*. 221 pp. Dostupné z: https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/fmvss/Rear_Visibility_NPRM_1203_2010.pdf
- [111] International Organization for Standardization (ISO). (2019). EN ISO 16505:2019. *Ergonomic and performance aspects of Camera Monitor Systems – Requirements and test procedures*.
- [112] SANCHEZ, M. E. (1992). Effects of questionnaire design on the quality of survey data. *Public Opinion Quarterly*, 56(2), 206.
- [113] CRAMER, H. (1946). *Mathematical Methods of Statistics* (PMS-9). Princeton, New Jersey: Princeton University Press. ISBN 0691080046.
- [114] ELVIK, R. (2005). Speed and road safety: Synthesis of evidence from evaluation studies. *Transportation Research Record*, 1908(1), 59–69. DOI: 10.1177/0361198105190800108
- [115] ACOCK, A. C., & STAVIG, G. R. (1979). A Measure of association for nonparametric statistics. *Social Forces*, 57(4), 1381–1386.
- [116] MATEOS-GRANADOS, J., MARTÍN-DELOSREYES, L. M., RIVERA-IZQUIERDO, M., JIMÉNEZ-MEJÍAS, E., MARTÍNEZ-RUIZ, V., & LARDELLI-CLARET, P. (2021). Sex differences in the amount and patterns of car-driving exposure in Spain, 2014 to 2017: An application of a quasi-induced exposure approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(24), article no. 13255. DOI: 10.3390/ijerph182413255

- [117] GLASSER, A., & CAMPBELL, M. C. W. (1999). Biometric, optical and physical changes in the isolated human crystalline lens with age in relation to presbyopia. *Vision Research*, 39(11), 1991–2015. DOI: 10.1016/S0042-6989(98)00283-1
- [118] REGAN, M. A., HORBERRY, T., & STEVENS, A. (2017). Driver acceptance of new technology: *Theory, measurement and optimisation*. Farnham Surrey, Burlington, Vt: Ashgate Publishing Company. ISBN 9781138077034.
- [119] LARGE, D. R., CRUNDALL, E., BURNETT, G., HARVEY, C., & KONSTANTOPOULOS, P. (2016). Driving without wings: The effect of different digital mirror locations on the visual behaviour, performance and opinions of drivers. *Applied Ergonomics*, 55, 138–148.
- [120] PAMPEL, S. M., SOUTHEY, T. J. R., & BURNETT, G. (2020). Understanding the distraction and behavioural adaptations of drivers when experiencing failures of digital side mirrors. *IET Intelligent Transport Systems*, 14(7), 775–782.
- [121] ADRIAN, J., PIEYRE, J., LEBRUN, J., MOHAND-SAID, S., & GUTMAN, E. (2017). Blind spot warning interface adapted to older drivers with early stage visual impairment. In *25th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)*, Detroit, Michigan, USA, paper Number 17-0190.
- [122] SCHKREBA, A., PAMPEL, S., BURNETT, G., & LARGE, D. R. (2021). Driver perception using a camera-based digital side mirror: An on-road study. In R. CHARLES & D. GOLIGHTLY (Eds.), *Ergonomics & Human Factors 2021*. CIEHF.
- [123] CAPPARELLA, J. (2018). Lexus ES will be the first car to replace side mirrors with cameras. *Car and Driver*. Available at: <https://www.caranddriver.com/news/a23103910/lexus-es-side-mirror-camera-digital/>
- [124] MC HUGH, M. L. (2013). The Chi-square test of independence. *Biochemia Medica*, 23(2), 143–149.
- [125] WASSERSTEIN, R. L., & LAZAR, N. A. (2016). The ASA statement on p-values: context, process, and purpose. *The American Statistician*, 70(2), 129–133.
- [126] MURATA, A., & KOHNO, Y. (2018). Effectiveness of replacement of automotive side mirrors by in-vehicle LCD—effect of location and size of LCD on safety and efficiency. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 66, 177–186.

- [127] HONG, S. J., LUI, C. S. M., HAHN, J., MOON, J. Y., & KIM, T. G. (2013). How old are you really? Cognitive age in technology acceptance. *Decision Support Systems*, 56, 122–130.
- [128] AYOUB, H. S., HUSSEIN, W. M., & ELBASHAR, Y. H. (2021). Investigation of automotive digital mirrors ergonomics through lasers shadowgraphy and driver's real-road test questionnaire. *Journal of Optics-India*, 50, 95–108.
- [129] BECK, D., LEE, M., & PARK, W. (2017). A comparative evaluation of in-vehicle side view displays layouts in critical lane changing situation. *Ergonomics*, 60(12), 1682–1691.
- [130] WITTMANN, M., KISS, M., GUGG, P., STEFFEN, A., FINK, M., PÖPPEL, E., & KAMIYA, H. (2006). Effects of display position of a visual in-vehicle task on simulated driving. *Applied Ergonomics*, 37(2), 187–199.
- [131] YONG-JU, C., YONG-SANG, S., & SEUNG-YOP, L. (2018). Aerodynamic analysis and noise-reducing design of an outside rear view mirror. *Applied Sciences*, 8(4), 519.
- [132] ZAAREER, M., & MOURAD, A.-H. (2022). Effect of Vehicle Side Mirror Base Position on Aerodynamic Forces and Acoustics. *Alexandria Engineering Journal*, 61(2), 1437–1448. ISSN 1110-0168. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.06.049>
- [133] DJI MAVIC 3 PRO DJI RC [online]. [cit. 2024-11-25]. Dostupné z: <https://www.djishop.cz/dji-mavic-3-pro-dji-rc.html>
- [134] JARQUE, CARLOS M., & BERA, ANIL K. (1987). A Test for Normality of Observations and Regression Residuals. *International Statistical Review / Revue Internationale de Statistique*, 55(2), 163–172. JSTOR, <https://doi.org/10.2307/1403192>.
- [135] WILCOXON, FRANK. (1945). Individual Comparisons by Ranking Methods. *Biometrics Bulletin*, 1(6), 80–83. JSTOR, <https://doi.org/10.2307/3001968>.
- [136] MOCSÁRI, T. (2009). Analysis of the overtaking behaviour of motor vehicle drivers. *Acta Technica Jaurinensis*, 2, 97–106.
- [137] AURENICE CRUZ FIGUEIRA, A., & LAROCCA, A. P. C. (2020). Analysis of the factors influencing overtaking in two-lane highways: A driving simulator study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 69, 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2020.01.006>.

- [138] XU, C., OZBAY, K., LIU, H., XIE, K., & YANG, D. (2023). Exploring the impact of truck traffic on road segment-based severe crash proportion using extensive weigh-in-motion data. *Safety Science*, 166, 106261. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106261>.
- [139] SIGAMANI, S., MAJUMDER, C., & SUKUMARAN, S. (2022). Changes in accommodation with visual fatigue among digital device users. *Medical Hypotheses, Discoveries & Innovations in Optometry*, 3(2), 63–69. <https://doi.org/10.51329/mehdiptometry153>.
- [140] Sky Optic. (n.d.). *Essilor CE 60 chart projector*. Retrieved November 27, 2024, from <https://sky-optic.com>
- [141] HOYA Vision Care. (n.d.). How is an eye test done? *HOYA Vision Care*. Retrieved November 27, 2024, from <https://www.hoyavision.com>
- [142] Vyhláška č. 153/2023 Sb., o technických požadavcích na vozidla (2023). Sbírnka zákonů České republiky. [online]. [cit. 2024-11-25]. Dostupné z <https://www.e-sbirka.cz/sb/2023/153/?zalozka=text>

Příloha B: Výstupní dotazník – dotazníkové šetření

VÝSTUPNÍ DOTAZNÍK

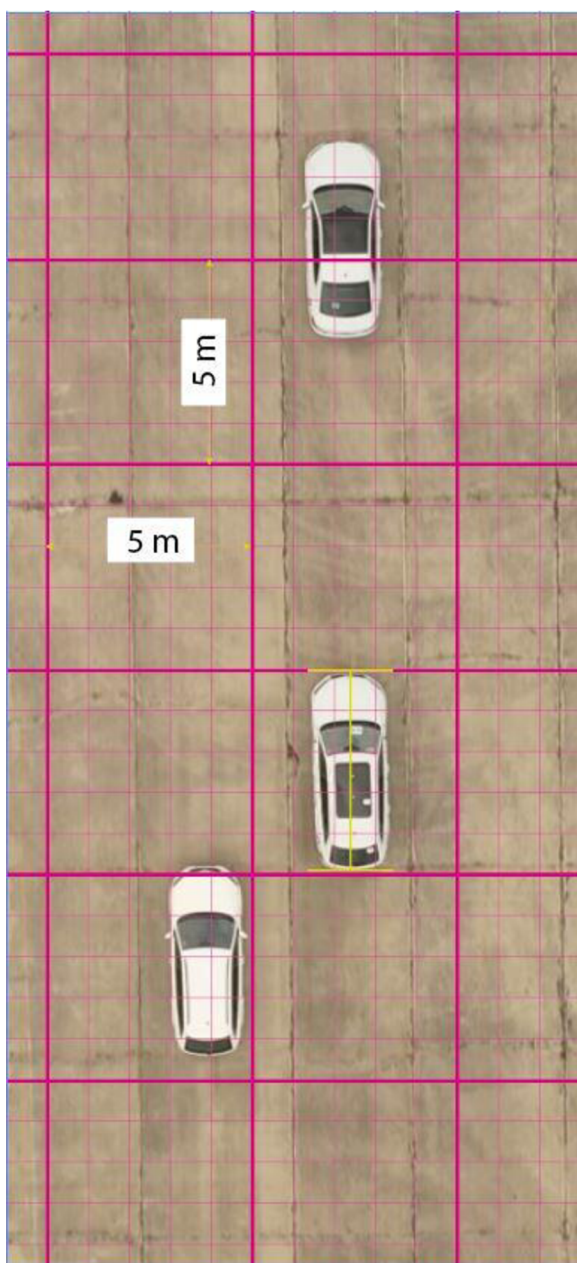
Správnou volbu zaškrtněte křížkem

Pořadové číslo

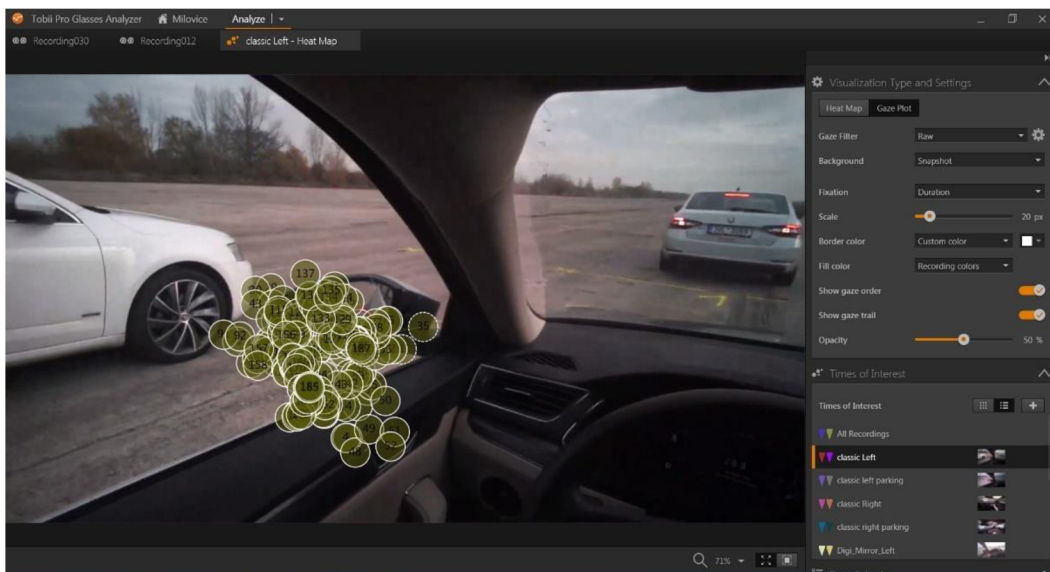
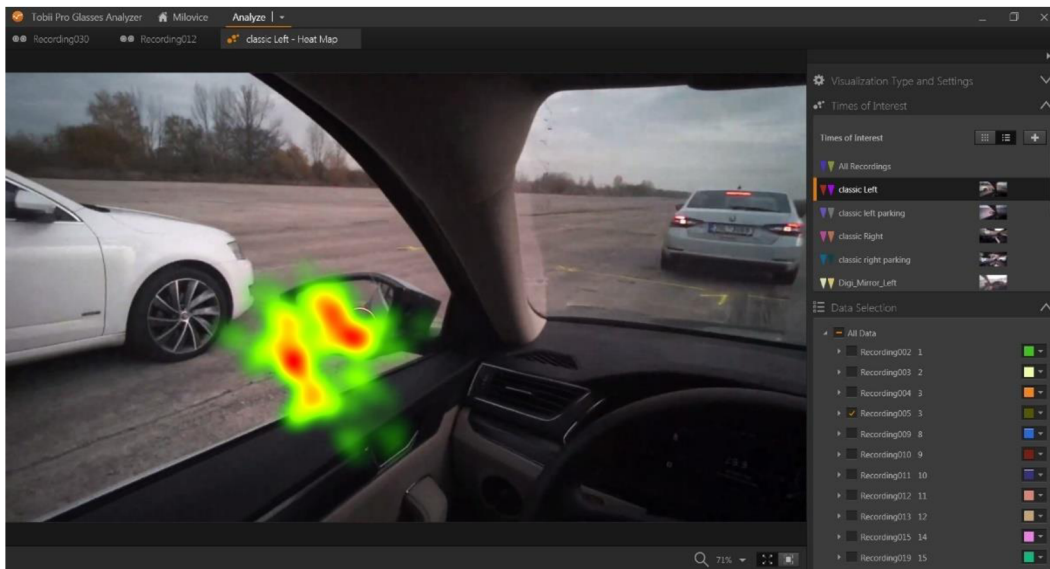
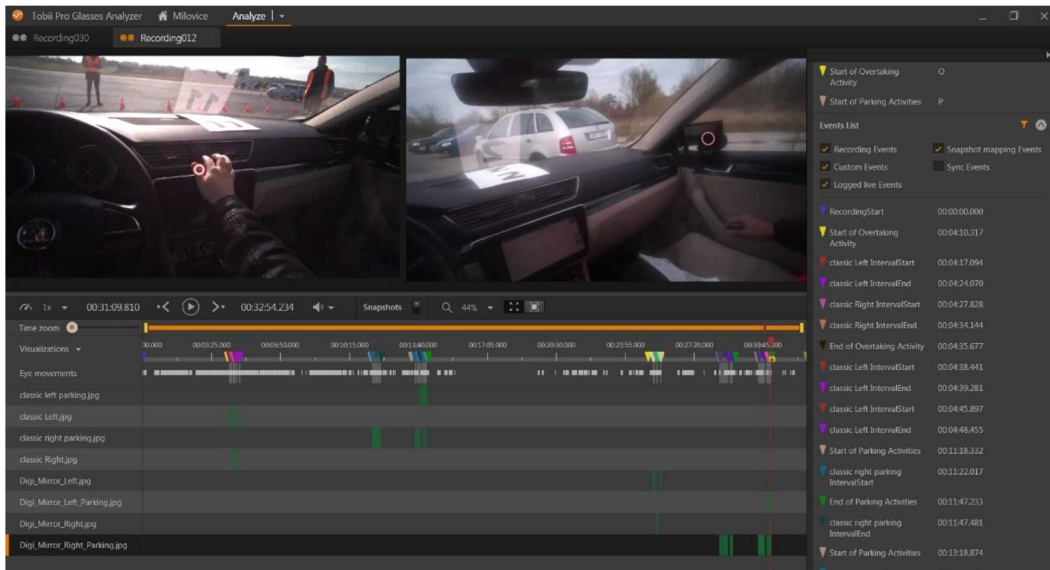
- 1 **CELKOVÝ DOJEM** 1 2 3 4 5 (Ohodnoťte celkově testování - 5 je nejlepší)
- 2 **POČASÍ BYLO** Slunečno Deštivo Mlha
- 3 **POCIT ZE ZRCÁTEK** Skvělá věc Zajímavé Neutrální Zklamání Kdo to potřebuje?
- 4 **POLOHA DISPLEJE** Vyhovovala Nevyhovovala (Pokud nevyhovovala, jakou navrhuje?)
.....
- 5 **CENA ZA ZRCÁTKA** Kč (Kolik byste byli ochotni zaplatit za tuto technologii jako příplatkovou výbavu?)
- 6 **CELKOVÁ BEZPEČNOST** Bezpečné Neutrální Nebezpečné (Napište, zda jste se při používání cítili bezpečně)
- 7 **PŘI PARKOVÁNÍ** Skvělé Velmi dobré Slušné S výhradami Nepoužitelné
- 8 **PŘI PŘEDJÍZDĚNÍ** Skvělé Velmi dobré Slušné S výhradami Nepoužitelné
- 6 **BEZP. PARKOVÁNÍ** Bezpečné Neutrální Nebezpečné (Napište, zda jste se při parkování cítili bezpečně)
- 6 **BEZP. JÍZDA** Bezpečné Neutrální Nebezpečné (Napište, zda jste se při jízdě cítili bezpečně)
- 7 **DŮVĚRA V OBRAZ** Zcela věřím Věřím Částečně věřím Moc nevěřím Zcela nevěřím
(Napiště prosím, jak moc jste důvěřovali digitálnímu obrazu, který vám zrcátka poskytovala)
- 12 **ULEHČÍ MI JÍZDU?** Rozhodně ano Spíš ano Neutrální Spíš ne Rozhodně ne
- 13 **OCENÍTE VÍCE FUNKCÍ?** Ne Ano (pokud ano, uveďte jaké)
- 14 **BUDOU VE ŠKODOVKÁCH?** Ne Ano
- 15 **CHTĚLI BYSTE JE?** Ne Ano (Odpovězte prosím, zda byste tuto technologii chtěli, bez ohledu na cenu)
- 16 **DALŠÍ POSTŘEHY**
Napište nám prosím vaše další postřehy z této technologie a z testování



Příloha C: Vyhodnocovací mřížka předjíždění



Příloha D: Tobii Pro Glasses Analyzer



Příloha E: Výsledky oftalmologického vyšetření

Nutnost addice do blízka 40 cm		
hodnota	počet	%
0	90	83,33
0,25	0	0,00
0,5	2	1,85
0,75	2	1,85
1	2	1,85
1,25	2	1,85
1,5	8	7,41
1,75	0	0,00
2	2	1,85
2,25	0	0,00
2,5	0	0,00
	0	0,00
kontrola	108	100

Zraková ostrost bez korekce do dálky		
hodnota	počet	%
0,05	2	1,85
0,10	1	0,93
0,20	8	7,41
0,30	4	3,70
0,40	4	3,70
0,50	10	9,26
0,80	27	25,00
0,90	0	0,00
1,00	16	14,81
1,25	32	29,63
1,60	4	3,70
	0	0,00
kontrola	108	100

Nutnost addice na střed 100 cm		
hodnota	počet	%
0,00	90	83,33
0,25	2	1,85
0,50	0	0,00
0,75	8	7,41
1,00	4	3,70
1,25	2	1,85
1,50	2	1,85
1,75	0	0,00
2,00	0	0,00
2,25	0	0,00
2,50	0	0,00
	0	0,00
kontrola	108	100

Zraková ostrost s korekcí do dálky		
hodnota	počet	%
0,16	1	0,93
0,10	0	0,00
0,20	0	0,00
0,30	1	0,93
0,40	0	0,00
0,50	5	4,63
0,80	24	22,22
0,90	0	0,00
1,00	24	22,22
1,25	49	45,37
1,60	4	3,70
	0	0,00
kontrola	108	100

Teoreticky vynaložená add na 40 cm		
hodnota	počet	%
0,00	4	3,70
0,25	0	0,00
0,50	1	0,93
0,75	0	0,00
1,00	2	1,85
1,25	4	3,70
1,50	1	0,93
1,75	3	2,78
2,00	15	13,89
2,25	16	14,81
2,50	43	39,81
>2.5	19	17,59
kontrola	108	100

Teoreticky vynaložená add na 100 cm		
hodnota	počet	%
0,00	6	5,56
0,25	1	0,93
0,50	9	8,33
0,75	11	10,19
1,00	43	39,81
1,25	11	10,19
1,50	3	2,78
1,75	3	2,78
2,00	8	7,41
2,25	6	5,56
2,50	2	1,85
>2.5	5	4,63
kontrola	108	100