



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Matúš Rudinský

**Experimentální hodnocení rozdělení pozornosti při  
IFR letech**

Bakalárska práca

2021

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



**K621 ..... Ústav letecké dopravy**

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Matůš Rudinský**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**B 3710 – PIL – Profesionální pilot**

Název tématu (česky): **Experimentální hodnocení rozdělení pozornosti při IFR letech**

Název tématu (anglicky): Experimental evaluation of attention distribution during IFR flights

**Zásady pro vypracování**

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cíl práce: Vyhodnoťte rozdělení pozornosti s využitím sledování pohybu očí
- Vykonejte analýzu současného stavu v řešení dané problematiky s hlavní orientací na hodnocení rozdělení pozornosti při pilotáži
- Navrhněte metodiku měření s využitím sledování pohybu očí pro účely kvantifikace rozdělení pozornosti
- Vykonejte experiment na charakteristických skupinách pilotů, rozdělených podle stádia výcviku
- Sesbíraná data ohodnoťte vybranými metodami
- Výsledky diskutujte a stanovte závěry



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Majaranta, Paivi. Gaze interaction and applications of eye tracking: advances in assistive technologies 2012  
Duchowski, Andrew Ted. Eye Tracking Methodology: Theory and practise  
Holmqvist, Kenneth, Eye-tracking: A comprehensive guide to methods, paradigms and measures

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Slobodan Stojić, Ph.D.**  
**doc. Ing. Bc. Vladimír Socha, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **9. října 2020**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **9. srpna 2021**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.  
vedoucí  
Ústavu letecké dopravy



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Matuš Rudinský  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 9. října 2020

## **Prehlásenie**

Predkladám týmto k posúdeniu a obhajobe bakalársku prácu, spracovanú na záver štúdia na Dopravnej Fakulte ČVUT v Prahe.

Prehlasujem, že som predloženú prácu vypracoval samostatne a že som uviedol všetky použité zdroje informácií v súlade s Metodickým postupom o dodržovaní etických princípov pri príprave vysokoškolských záverečných prací.

Nemám závažný dôvod proti použitiu tohto školského diela v zmysle § 60 Zákona č. 121/2000 Zb., o autorskom práve, o právach súvisiacich s autorským právom a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon).

V Prahe dňa 9.8.2021

.....

Podpis

## **Podakovanie**

Na začiatok by som sa chcel poďakovať Ing. Slobodanovi Stojícovi, Ph.D, za odborné vedenie a smerovanie tejto práce, ďalej by som chcel poďakovať doc. Ing. Bc. Vladimíru Sochovi Ph.D, za pomoc pri tvorbe praktickej časti práce a vyhodnotení práce, taktiež Ing. Tomášovi Malichovi, s pomocou pri návrhu softwarového riešenia hodnotenia dát, taktiež by som chcel poďakovať všetkým, čo sa podieľali na meraní a boli ochotný sa zúčastniť sa a pomôcť k dokončeniu tejto práce. Poďakovanie patrí mojej rodine, ktorá ma podporovala počas celého štúdia, kamarátom a spolužiakom za pomoc a asistenciu počas štúdia.

## **Abstrakt**

Používanie zariadenia na sledovanie pohybu očí sa používa na skúmanie rozdelenia pozornosti v čoraz viac odvetviach a ani letectvo nie je výnimka. S rozvojom nových technológií vo virtuálnej realite máme k dispozícii zariadenie, ktoré dokáže v dostatočnej kvalite vytvárať projekciu obrazu a zároveň zaznamenávať pohyb očí. Toto zariadenie s použitím leteckého simulátoru nám umožní sledovať pohyb očí počas simulácie IFR letu. Cieľom práce je vyhodnotenie rozdelenia pozornosti počas IFR letu na základe sledovania pohybu očí u pilotov vo výcviku v rôznych jeho fázach. Na meranie bolo pozvaných celkovo 23 pilotov, ktorý sa nachádzali v štádiách výcviku od VFR po koniec IFR. K vyhodnoteniu dát boli piloti rozdelený do troch skupín a bola zvolená metóda AOI a vizualizácie pohybu očí.

### **Kľúčové slová:**

Sledovanie pohybu očí, IFR let, Pohyb očí, FOVE 0, Virtuálna realita, Oblasti záujmu, Vizualizácia pohybu očí

## **Abstract**

The use of eye-tracking is used to examine the distribution of attention in increasingly more and more industries and neither aerospace is not an exception. With the development of new technologies in a virtual reality we have a device that can create image projection and record eye movement at sufficient quality. This device using airplane simulator will allow us to track eye movement during IFR flight simulation. The aim of the thesis is to evaluate the distribution of attention during IFR flight based on eye movement monitoring for pilots in training in various phases. A total of 23 pilots were invited to experiment at the training from the VFR to the end of IFR. The pilots were divided into three groups for evaluation and the AOI method with eye motion visualization was chosen.

### **Key words:**

Eye-tracking, IFR flight, Eye movement, FOVE 0, Virtual reality, Area of interest, Scanpath visualization

# Obsah

Úvod .....	10
<b>1 Teoreticky základ práce .....</b>	<b>12</b>
1.1 História sledovania pohybu očí.....	12
1.2 Pohyb očí.....	13
1.3 Virtuálna realita.....	15
1.4 Metódy hodnotenia dát rozdelenia pozornosti.....	16
1.4.1 Vizualizácie dráhy pohybu očí.....	16
1.4.2 Teplotné mapy.....	17
1.4.3 Oblasti záujmu (AOI).....	17
1.5 Pravidlá pre lietanie podľa prístrojov(IFR).....	18
1.6 Rozdelenie pozornosti počas letu.....	20
1.6.1 Rozdiely v pozornosti pri VFR a IFR letoch.....	20
1.6.2 Rozdiely v pozornosti v rôznych fázach letu.....	21
1.7 Rešerš odborných prác.....	24
1.8 Limitácie súčasného stavu.....	29
<b>2 Metodika experimentu.....</b>	<b>31</b>
2.1 Demografia subjektov.....	31
2.2 Vybavenie k experimentu.....	33
2.3 Nastavenie merania.....	35
2.4 Zber a spracovanie dát.....	38
<b>3 Výsledky.....</b>	<b>42</b>
<b>4 Diskusia.....</b>	<b>47</b>
<b>5 Záver.....</b>	<b>49</b>
<b>Zoznam literatúry .....</b>	<b>51</b>
Príloha 1 .....	56
Príloha 2.....	57



## Zoznam skratiek:

ADF	Automatic direction-finding equipment Radiokompas
AI	Attitude indicator Umelý horizont
ALT	Altitude indicator Výškomer
AOI	Area of interest Oblasť záujmu
AS	Air speed indicator Rýchlomer
ATC	Air traffic control Riadenie letovej prevádzky
CDI	Course deviation indicator Indikátor odchýlky kurzu
DH	Decision height Výška rozhodnutia
FAP	Final approach point Bod konečného priblíženia
FPS	Frames per second Snímky za sekundu
GPS	Global Positioning System Globálny lokalizačný systém

HDG	heading indicator Smerový zotrvačník
HUD	Head-up display Head-up displej
IAS	Indicated airspeed Indikovaná vzdušná rýchlosť
ICAO	International Civil Aviation Organization Medzinárodná organizácia pre civilné letectvo
ICP	Integrated control panel Integrovaný kontrolný panel
IFR	Instrument flight rules Pravidlá pre let podľa prístrojov
ILS	Instrument landing system Systém pre presné priblíženie
IMC	Instrument meteorological conditions Meteorologické podmienky pre let podľa prístrojov
LMFD	Left multifunctional display Ľavý viacúčelový displej
ND	Navigation display Navigačný displej
NTSB	National Transportation Safety Board Národný úrad pre bezpečnosť dopravy Spojených štátov amerických
RMFD	Right multifunctional display Pravý viacúčelový displej

RVR	Runway visual range Dráhová dohľadnosť
TCD/TI	Turn coordinator/indicator Zatáčkomer
UCL	Úrad pre civilné letectvo Českej republiky
VFR	Visual flight rules Pravidlá pre let za viditeľnosti
VMC	Visual meteorological conditions Meteorologické podmienky pre za viditeľnosti
VOR	Very high frequency omnidirectional radio range VKV všesmerový maják
VSI	vertical speed indicator Variometer

# Úvod

Témou bakalárskej práce je experimentálne hodnotenie rozdelenia pozornosti pri IFR letoch, s cieľom vyhodnotenia rozdelenia pozornosti s využitím sledovania pohybu očí. Téma tejto bakalárskej práce je dôležitá z pohľadu bezpečnosti letu a chápania vývoja rozdelenia pozornosti počas výcviku pilotov. IFR lety sú náročné na pozornosť a celkové rozdelenie pozornosti najmä u začínajúcich IFR pilotoch a pre tých, čo sa nachádzajú na pomedzí VFR a IFR výcviku. Sledovanie dráhy pohybu zraku počas IFR letu u VFR pilotov, začínajúcich IFR pilotov a už pilotmi v pokročilejšom štádiu IFR výcviku ponúka zaujímavé porovnanie týchto troch skupín ako sa mení rozdelenie pozornosti počas výcviku. Kvôli nedostatočným kapacitám, bolo zvolené meranie len určitej časti IFR letu a to priblíženie a pristátie, pretože sa jedná o jednu z najnáročnejších častí letu na pozornosť u pilota a najviac nehodovú časť z pohľadu štatistik. Na Ústave leteckej dopravy sa nachádza zariadenie pre potreby sledovania pohybu očí, ktoré bude využívané k meraniu. Toto zariadenie je kombináciou zariadenia na sledovanie pohybu očí a zariadením na vytváranie virtuálnej reality, takáto kombinácia zariadení do nedávna nebola vyrábaná, a je to jedno z mála podobných zariadení na trhu, ktoré ponúka mnohé výhody s porovnaním s klasickými zariadeniami na sledovanie pohybu očí.

Práca sa bude zameriavať na zistenie a skúmanie rozdielov, pokiaľ existujú, v rozdelení pozornosti počas IFR letu u špecifických skupinách pilotov vo výcviku. Taktiež, či sa dráha očí sa pohybuje v určitých pravidelných obrazcoch a schémach alebo má skôr náchylnosti k nepravidelnostiam.

Bakalársku prácu je možné rozdeliť na dve základné časti, a to na teoretickú a praktickú časť. V teoretickej časti je obsiahnutá prvá kapitola kde sa rozoberaná základná teória, fyziológia očí, pojmy potrebné k pochopeniu problematiky tejto práce a rôzne metódy hodnotenia pohybu očí. Ďalej, je v prvej kapitole zameranie na hodnotenie rozdelenia pozornosti pri pilotáži a limitácie súčasných odborných prác. Nasledujúca kapitola sa venuje demografii zúčastnených pilotov, samotnému zariadeniu vybraného na meranie a priebehu experimentu so spôsob zapisovania dát a výstupov.

Praktická časť sa sústreďuje priamo na experiment a merania sledovania pohybu očí, s využitím zvolenej metódy na hodnotenie dát, na overenie existencie rozdielov v rozdelení pozornosti počas IFR letu. Taktiež, v tejto časti je popísaný proces vyhodnotenia práce a nástroje, ktoré boli využité k hodnoteniu.

# 1 Teoreticky základ práce

Vyhodnocovanie pohybu očí je jednou z najvplyvnejších metód pre hodnotenie kognitívnych procesov pilota v kokpíte. Informácie získané technológiou na sledovanie pohybu očí (eye-tracking) nám umožňujú skúmať vzťah medzi očnými zmenami a zmenami pozornosti počas výkonu úloh pilota. Zariadenia na eye tracking poskytujú nástroj k začleneniu úvah o výkonnosti pozornosti pilotov do designu displejov a iných zariadení v kokpíte. Ako uvádza Li et al. [1] tak zrakové správanie môže ponúknuť mnoho ďalších indícií, ktoré sa týkajú mentálneho procesu vnímania informácií pilotmi počas letu, ako sú napríklad oblasti záujmu (AOI), ktoré skenujú, obsluhujú a vyhodnocujú. Tieto dáta o pohybe očí sú citlivé s automatickou odozvou, čo môže slúžiť ako vstup do procesov situačného uvedomenia(SA) pilotov, a ako reflexia mentálneho stavu.

Autori Skvarekova a Skultety[2] uvádzajú, že zariadenie na sledovanie pohybu očí je najefektívnejší spôsob na monitorovanie pilotov počas letu. Pohyby očí poskytujú informácie o pracovnej záťaži a situačnom uvedomení pilotov. Základom letov podľa prístrojov je správne rozdelenie pozornosti a správna interpretácia dát z palubných prístrojov. So sledovaním správnych prístrojov v správny čas môže pilot doceliť požadované výsledky. Frekvencia a fixácie na jednotlivé prístroje sa mení podľa fáze letu. Priemerné a relatívne časy fixácií rôznych prístrojov nie sú presne dané, ale sú určené s potrebou na kontrolu a manažment v určitej fáze.

Rozdiely v sledovaní prístrojov sú znateľné počas rôznych fázach letu ako sú let v hladine, stúpanie alebo klesanie. Na príklad piloti sledujú viac výškomer pri zmenách smeru letu. Klesanie a finálne priblíženie majú podobné charakteristiky(strata výšky), ale aj tak sa očné pohyby počas pristávania a priblíženia môžu líšiť od klesania, pretože piloti musia letieť viac presne a tiež musia sledovať okolie a dráhu [2].

## 1.1 História sledovania pohybu očí

Prvé pokusy o zaoberajúce sa pohybom očí siahajú až do 18. storočia, kedy Ján Evanjelista Purkyne skúmal vnímanie farieb a svetla okom a samotným pohybom oka. Jeho výskum sa ale skôr zaoberal na iné vlastnosti oka.

Sledovanie pohybu očí sa postupne začalo výraznejšie rozvíjať v 20. storočí, kedy vedec a psychológ Edmund Burke Huey vymyslel metódu, ktorá mala slúžiť k hlbšej analýze pohybu očí pri čítaní. Jeho pozorovanie využívalo vcelku invazívnu metódu, pri ktorej bolo pozorovanému bolo umŕtvene oko a do neho aplikované špeciálne upravené šošovky, kde bol výrez na zornici a ku ktorým bolo pripevnené lanko. Cez toto lanko boli prenášané pohyby na ihlu, ktorá zaznamenáva pohyby oka na papier. Tieto meranie sa stali na dlhý čas základom chápania pohybov oka[3].

Po druhej svetovej vojne došlo k zdokonaľovaniu technológií na meranie pohybu očí. V roku 1947 sa vedci začali zaoberať ergonómiou pilotnej kabíny u vojenských lietadiel. Pohyby oka sa zaznamenávali na film, ktorý sa potom analyzoval a výsledky sa premietali do vývoja nových lietadiel, pre lepšiu celkovú ergonómiu a rozmiestenie prístrojov[4].

## 1.2 Pohyb očí

Oči nikdy nie sú v absolútnom klúde, vďaka oko-hybným svalom oči neustále vykonávajú i sebe-menší pohyb. Tieto pohyby očí môžeme rozdeliť do štyroch základných skupín. Ducohwski [5] rozdeľuje pohyby podľa rýchlosti pohybu oka, pokiaľ je oko vo vedomosti alebo nevedomosti, alebo tiež na základe príčiny pohybu oka. Ľudské oko je schopné vykonávať skoro akýkoľvek pohyb okolo osy prechádzajúcej stredom oka. Pohyby buliev sú navzájom koordinované a symetrické buď v tom samom smere takzvaný konjugovaný pohyb alebo v symetrickom opačnom smere, takzvané disjunktívny pohyb. Okrem uvedeného rozoznávame aj iné typy pohybov, ktoré môžu byť vzťahované k rýchlosti zmeny fokusu. Najvýznamnejšou kategóriou sú tzv. pohyby sakadické.

Sakadické pohyby iným slovom "sakáda" sú rýchle pohyby oka za cieľom premiestnenie fovei (časť sietnice oka). Tieto pohyby môžu byť dobrovoľne, alebo na podnet reflexu. Dĺžka jednej sakády býva zväčša od 10 do 100 ms . Pri prijatí neočakávaného stimulu je odozva okolo 200 ms. Sakadické pohyby sa označujú ako stereotypné a balistické. Stereotypné z dôvodu, že pri sledovaniach špecifické vzory pohybu môžu byť vyvolané opakovane. Balistické, nakoľko je domnienka, že sakadické pohyby sú predprogramované v tele. Pohyb umožňuje oko nasmerovať tak, aby bolo sledovaný objekt, čo najostrejší. Rýchlosť týchto pohybov nie je kontrolovaná,

je však najvyššia akú môže ľudské telo vykonať a ktorú nám jak už oči, svalstvo či mozog môže dovoliť. Pri skúmaní sakád sa merajú parametre ako sú:

- dĺžka jednej sakády
- rýchlosť pohybu
- vzdialenosť medzi miestami na, ktoré sa oko fixovalo.

Fixácie sú pohyby oka, ktoré stabilizujú sietnicu nad stacionárnym objektom. Sú charakteristické miniatúrnymi pohybmi oka, driftom a mikosakádami. Dĺžka fixácie býva medzi 200 až 300 ms. Parametre, ktorými charakterizujeme fixácie sú:

- počet fixácií
- dĺžka fixácie
- súradnice bodov fixácie.

Mikrosakadické pohyby sú skoro podobné predošlému sakadickému pohybu, avšak ich amplitúda sa pohybuje v rade uhlových minút. Tieto pohyby slúžia k neustálemu zameriavaniu pohybujúceho objektu, aby stále dochádzalo k tomu, že obraz je premietaný čo najostrejšie. Frekvencia sa pohybuje okolo 5 pohybov/s. Na sietnici oka pokrýva uhol len 1-2 stupne, kedy oko vykonáva len malé pohyby, ktorými sleduje okolie, aby sa oko mohlo vrátiť do pôvodnej zrakovej osi. Pri sledovaní pohybujúcich sa predmetov sa okrem vyššie spomenutých pohybov zapája aj sledovací pohyb očí.

Sledovací pohyb očí sa objavuje v prípade, pokiaľ je v zornom poli predmet, ktorý sa pohybuje určitou rýchlosťou. Tento pohyb nie je vo všetkých smeroch rovnako presný a preto je nazývaný asymetrický. Sledovanie v horizontálnej rovine pohybujúceho sa objektu je presnejšie u ľudí ako sledovanie vo vertikálnej rovine. Tento pohyb sa dá rozdeliť do dvoch fáz, a to na prvú fázu, kde oko sa snaží zachytiť pohybujúci sa objekt, v druhej fáze už oko sleduje tento objekt a snaží sa ho udržať v mieste najostrejšieho videnia. Ide skôr o pomalý pohyb v porovnaní so sakadickým pohybom. Do ovládania pohybov očí sa zapája okrem oka, nervovej sústavy a mozgu aj aparát umiestnený v uchu človeka. Tento aparát sa využíva pri pohyboch vestibulo-okuliarného reflexu.

Zmiený reflex očí je ovládaný vestibulárnym aparátom v uchu. Pri pohybe nastáva súčinnosť očí s aparátom, ktorý má človek umiestnený vo vnútornom uchu a informuje telo o zrýchleniach v rôznych smeroch a tým sa zastabilizuje pohľad. Jedná sa o reflex tela, reakčná doba tohto pohybu sa pohybuje okolo 10 ms. K zabezpečeniu tak rýchlejšej

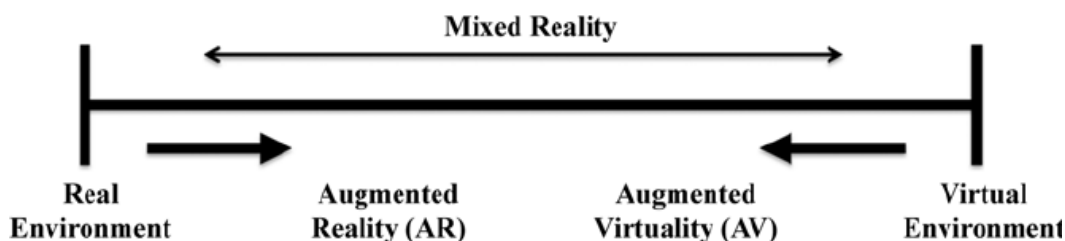


odozvy nervové spojenie nevedie cez mozog ale orgány majú medzi sebou priame spojenie. Pri pohybe hlavy sa oči pohybujú opačným smerom, z dôvodu aby sa objekt, ktorý sledujeme udržal v centru pozornosti. Tento reflex je možné oslabiť napríklad pitím alkoholu, kedy dochádza k zhoršeniu vestibulárneho aparátu a oči nedokážu kompenzovať pohyby hlavy dostatočne rýchlo. Toto je dôvod rozmazaného videnia.

### 1.3 Virtuálna realita

Celkovo ide o technológiu, ktorej história siaha do roku 1960, v posledných rokoch nastáva rozmach virtuálnej reality s dosahom aj k bežnej populácii. Virtuálna realita sa využíva v mnohých iných odvetviach ako len vo výskumoch a štúdiách, ale nachádza si uplatnenie aj v zábavnom priemysle (napríklad počítačové hry), vo vzdelávaní alebo vo sfére biznisu ako sú virtuálne obchodné stretnutia. Je to technológia, ktorej cieľom je vytvorenie takého prostredia, v ktorom sa subjekt bude cítiť ako v reálnom svete. Toto navodenie určitého prostredia vzniká väčšinou obrazovou formou, malo by byť, čo najkomplexnejšie a najvierohodnejšie aby účastník virtuálnej reality zažíval vnemy ako v skutočnom svete. Zobrazované prostredie sa môže a nemusí snažiť o zobrazenie skutočného sveta, pokiaľ zobrazuje skutočný svet vtedy sa jedná o syntetickú realitu, inak keď je zobrazované prostredie, ktoré sa nepodobá na skutočný svet tak v tom momente sa jedná o virtuálne prostredie. Včítanie užívateľa do virtuálnej reality sa dá definovať ako veličina, a tým rozdeliť podľa Miller a Bugnariu [6] do troch základných úrovní a to:

- nízka
- mierna
- vysoká úroveň



Obr. 1 Úsečka kontinua podľa Lavy et al. [7]

Virtuálna realita je vytvorené prostredie, ktoré sa najviac približuje simulovanému svetu a zároveň je najďalej od reálneho sveta na úsečke kontinua reality, úsečka je zobrazená na obrázku 1. Táto úsečka je ohradená z jednej strany skutočným

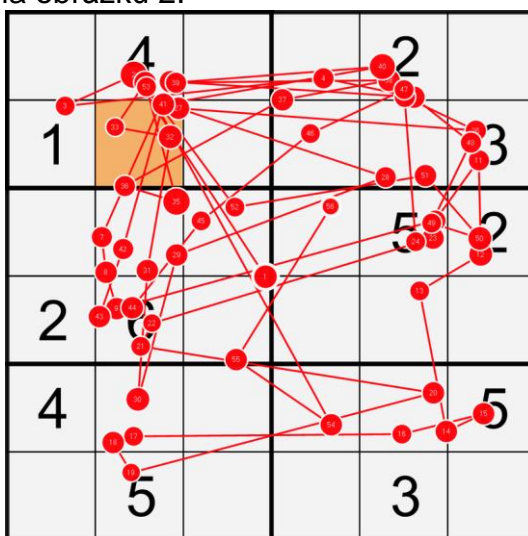
prostredím do ktorého patria skutočne objekty a prostredie a z druhej strany simulovaným svetom, ktorý už je charakteristický simulovanými objektmi.

## 1.4 Metódy hodnotenia dát rozdelenia pozornosti

Aby namerané dáta z eye-trackingu nestrácali výpovednú hodnotu a dobre sa s nimi pracovalo je potrebné zvoliť správnu vizuálnu metódu na ich spracovanie. Výstupne namerané dáta sú matice, sústavy súradníc a hodnôt, ktoré nie sú samé o sebe vhodné na vytváranie určitých záverov. Po ich vhodnom spracovaní je práca s dátami výrazne jednoduchšia a intuitívnejšia. Eye-tracking sa nevyužíva len v letectve, ale aj napríklad pri skúmaní ľudského faktoru pri šoférovaní, alebo pri promovaní a marketingu, kde je snaha o oslovenie zákazníkov vizuálnou formou. Pri skúmaní pohybu očí sa v letectve väčšinou stretáme s metódami vyhodnocovania dát a to sú: vizualizácie dráhy pohybu očí, teplotné mapy(heat map), oblasti záujmu, cluster a beeswarm.

### 1.4.1 Vizualizácie dráhy pohybu očí

Táto vizualizácia zobrazuje kruhy, ktorých veľkosť zobrazuje dĺžku fixácie na jednotlivé miesta. V kruhoch môžu byť zobrazené aj čísla, ktoré ukazujú v akom poradí sa na dané miesta subjekt pozrel a dané krúžky sú pospájané čiarami, ktoré zobrazujú pohyb očí z jedného miesta fixácie na nasledujúce. Čiary medzi miestami fixácií sú v podstate vyobrazením sakád. Táto metóda dobre zobrazuje jednotlivé miesta fixácie a poradie medzi jednotlivými miestami, taktiež ukazuje prvé miesta, na ktoré sa oči fixujú. Táto metóda je vyobrazená na obrázku 2.



Obr. 2 Vizualizácia dráhy pohybu očí podľa Raschke et al. [8]

## 1.4.2 Teplotné mapy

Toto zobrazenie je veľmi zrozumiteľné a jednoduché na interpretáciu, z toho dôvodu patrí k jednej najčastejšie používaných metód pri hodnotení dát z eye-trackingu. Táto metóda je vhodná skôr na hodnotenie statického pozadia ako pohybujúceho sa. Využíva podobné farebné schéma ako termokamery. Červenou farbou sú zobrazené miesta s najdlhšou dobou fixáciou a zelenou naopak z najkratšou dobou, bez zafarbenia zostávajú miesta z minimálnou fixáciou (obrázok 3). Pri použití tejto metódy zanikajú informácie o sakádach ale získavame priamo miesta, na ktoré sa pohľad sústreďoval naviac. Z tohto dôvodu je táto metóda veľmi využívané v marketingovom odvetí, aby spoločnosti vedeli zacieliť, čo najpresnejšie na zákazníka a zaujali pozornosť prezentovaným produktom alebo službou.

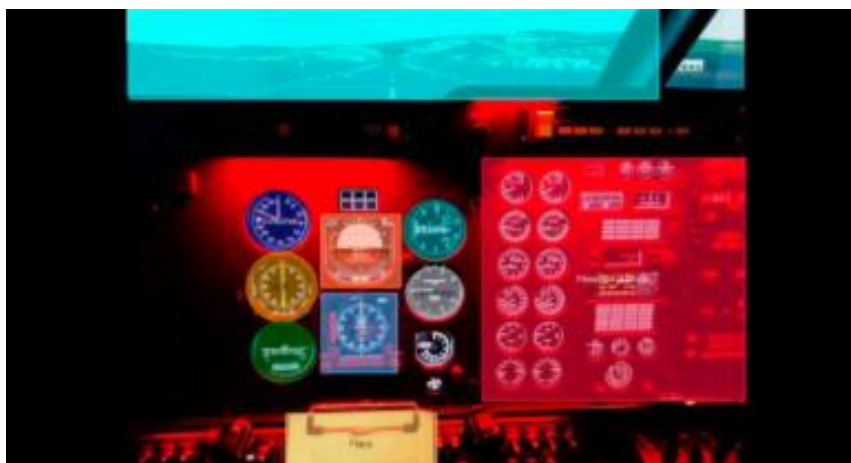


Obr. 3 Zobrazenie teplotnej mapy na webovej stránke podľa Autora [9]

## 1.4.3 Oblasti záujmu (AOI)

Pri tejto metóde sú predom určené presné oblasti záujmu, ktoré oči sledujú. Počas meraní sledujeme interakcie subjektov s jednotlivými oblasťami. Výstupmi môžu byť napríklad dĺžky fixácií, počet fixácií na jednotlivé oblasti alebo pomer fixácií na dané miesta. Na obrázku 4 vidíme palubné prístroje rozdelené na jednotlivé oblasti záujmu. Pri štúdiách v letectve býva zvykom, že každý prístroj reprezentuje jednu oblasť

záujmu, pohľad z kokpitu je samostatná oblasť a prístroje monitorujúce činnosť motoru formujú ďalšiu oblasť záujmu.



*Obr. 4 Letové prístroje a pohľad von z kabíny rozdelené na jednotlivé AOI zo štúdie od autorov Skvarkova a Skultety [2]*

Okrem zmienených sa používajú ďalšie druhy metód ako cluster a beeswarm. Cluster je oblasť, ktorá sa určí automaticky na základe zvýšenej koncentrácie fixácii meraných subjektov. Jednotlivé clustery sa odlišujú od seba číslovaním a farebne. V porovnaní s AOI sa clustery odlišujú tak, že dané oblasti sú generované automaticky a nie sú pevne dané predom, pozri tiež [10,11,12,13]. Beeswarm alebo včelí roj ukazuje určitom okamžiku sledovanú oblasť, kde bodky zobrazujú kam sa pozerali jednotliví meraní v tom danom okamihu. Služi na porovnanie, čo jednotlivci sledujú, v daný okamih, pre ďalšie informácie pozri [13,14].

## **1.5 Pravidlá pre lietanie podľa prístrojov(IFR)**

Pravidlá pre lietanie podľa prístrojov zahrňuje pravidlá, postupy, vybavenie lietadla a výcvik pilota tak, aby mohol lietať pod týmito pravidlami, ktoré sú definované v ICAO anexoch a nariadeniach vydávanými komisiou Európskej únie. V Českej republike je základom civilnej leteckej legislatívy zákon č. 49/1997 Sb. zákon o civilním letectví a o změně a doplnění zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání, který ustanovuje UCL a stanovuje pravidla pre civilné letectvo. Ustanovenia a nariadenia komisie Európskej únie a ICAO sú priamo premietnuté do národnej legislatívy v Českej republike v L predpisoch leteckej informačnej služby, ktoré vydáva Ministerstvo dopravy ČR.

Na rozdiel od VFR letov, ktoré je možné prevádzkovať len vo VMC podmienkach, sú IFR lety povolené aj v IMC podmienkach. Toto umožňuje IFR letom menšie obmedzenia s pohľadu počasia, určité obmedzenia môžu vznikáť pri prechode IFR pravidiel na VFR a naopak, kedy musí lietadlo prechádzajúce na VFR pravidla vo VMC podmienkach, respektíve vo VMC podmienkach predtým ako prejde na IFR. Let podľa pravidiel pre IFR im stále podlieha aj v prípade, že sa lietadlo nachádza vo VMC podmienkach.

Obmedzenia pre IFR lety môžu vznikáť pri pristáť, kedy sú určené 3 základné kategórie podľa dohľadnosti a výšky oblačnosti nad letiskom. Piloti len s prístrojovou kvalifikáciou majú povolenie na priblíženia do minimálnej kategórie I, na vyššiu kategóriu musia piloti získať dodatočný výcvik a byť členmi viacčlennej posádky, lietadlo musí prejsť taktiež schvaľovacím procesom, ktorý dovoľí prevádzkovať dané lietadlo pri znížených meteorologických podmienkach, ďalej sú kladené dodatočné požiadavky na operátora letu, a nakoniec letisko musí byť vybavené daným systémom. Okrem obmedzení na priblíženie a pristátia sú minima na vzlet k zabezpečeniu bezpečného vzletu a operácií na ploche letiska.

Nie všetky lietadlá sú schválené na IFR lety, minimálne vybavenie lietadla k tomu aby mohlo byť schválené k IFR letom je popísané v predpise L6, lietadlá do 5700kg byť vybavené prístrojmi na let za VFR a k tomu:

- magnetickým kompasom
- palubnými hodinami, ktoré ukazujú hodiny, minúty a sekundy
- dvoma barometrickými výškomermi
- ukazovateľ indikácie rýchlosti s možnosťou vylúčenia účinkov vlhkosti a námrazy
- zatáčkomerom, ktorý obsahuje priečny náklon
- umelým horizontom
- ukazovateľom kurzu
- prístrojom indikácie správneho napájania gyroskopických prístrojov
- teplomerom na vonkajšiu teplotu
- variometrom
- a inými prístrojmi, ktoré môže predpísať UCL, k určitým navigačným procedúram [15]

## 1.6 Rozdelenie pozornosti počas letu

Pozornosť počas celého letu nie je rovnaká, ale mení sa v rôznych jeho fázach a častiach podľa potreby a priorít. Rozdelenie pozornosti sa znateľne taktiež líši pod aké pravidlá spadá, či VFR alebo IFR, rozdiely a práca pilota je do veľkej miery rozdielna pri VFR a IFR letoch, pilot pri IFR letoch spolieha predovšetkým na prístrojové ukazovatele a pri VFR primárne na referenciu so skutočným horizontom a okolitým terénom.

### 1.6.1 Rozdiely v pozornosti pri VFR a IFR letoch

Rozdiely pre VFR a IFR vychádzajú už so samotného základu ich pravidiel, a za akých meteorologických podmienok môžu byť uskutočnené. Pre lety za VFR je dôležitý pohľad von z kabíny a následne sledovanie prístrojov ako sú rýchlomer, výškomer a variometer. Pilot si pohľadom von z kabíny zaisťuje sám stanovené rozostupy od oblačnosti, aby neporušil pravidlá pre VFR lety, ďalej rozostupy od ostatných lietadiel v jeho blízkosti nakoľko separácia od okolitých lietadiel v určitých vzdušných priestoroch nie je zaistená od ATC a pilot za ňu zodpovedá sám. Počas letu VFR pilot sám zodpovedá za správne rozostupy od prekážok a vyhodnocuje svoju polohu na základe zakreslenej trate v mape s vizuálnymi referenciami okolitého terénu. Na obrázku 5 môžeme vidieť heat mapu pohľadu pilota zaznamenanú zariadením na sledovanie pohybu očí na simulátore počas simulácie letu VFR. Z mapy je znateľné, že pozornosť pilota prioritne smeruje von z pilotnej kabíny a v menšej miere na panel prístrojov. Na obrázku je vidieť, že piloti sledovali minimálne umelý horizont, toto vyplýva z poznatku, že piloti počas VFR letov letovú polohu vyhodnocujú pohľadom von na skutočný horizont.



Obr. 5 Teplotná mapa pri letu na simulátore pri VFR lete od Diaz et al.[16]

Pri lietaní podľa pravidiel pre IFR získavajú piloti referencie o jeho polohe, náklone, smere a ďalšie údaje z prístrojov na palube. Piloti sa musia riadiť informáciami zobrazovanými na budíkoch alebo displejoch, jak pri VMC podmienkach tak aj pri IMC. Pri IMC podmienkach môžu nastať určité ilúzie, kedy si piloti myslia, že sa nachádzajú napríklad v inej polohe ako im je prezentovaná na prístrojoch, v tom prípade by piloti mali plne dôverovať informáciám na prístrojoch. Pre potreby navigácie získavajú informácie taktiež z prístrojov na palube, ktoré získavajú signál z pozemných zdrojov, vesmírnych alebo ATC. Pre základné analógové prístroje, ktoré sú: umelý horizont (AI), rýchlomer (AS), výškomer (ALT) a smerový zotrvačník (HDG) platí ich rozmiestnenie do takzvaného „T“, ktoré môžeme vidieť na obrázku 6. Piloti sú trénovaní od počiatku IFR výcviku trénovaný na prácu s týmto rozmiestneným prístrojov, aby sa naučili správnu techniku a docielili požadovanej efektívnosti s ich pozornosťou.

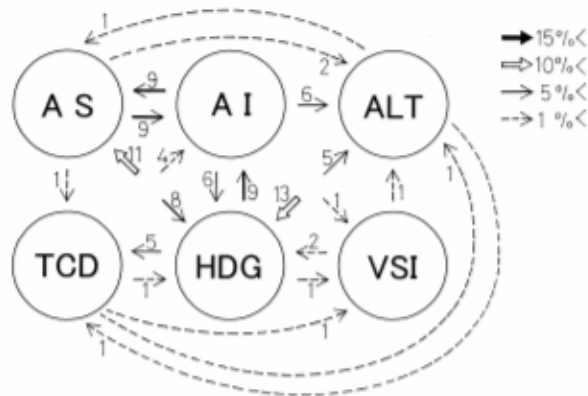


Obr. 6 Rozmiestnenie prístrojov do „T“ vid' Hareide a Ostnes [17]

### 1.6.2 Rozdiely v pozornosti v rôznych fázach letu

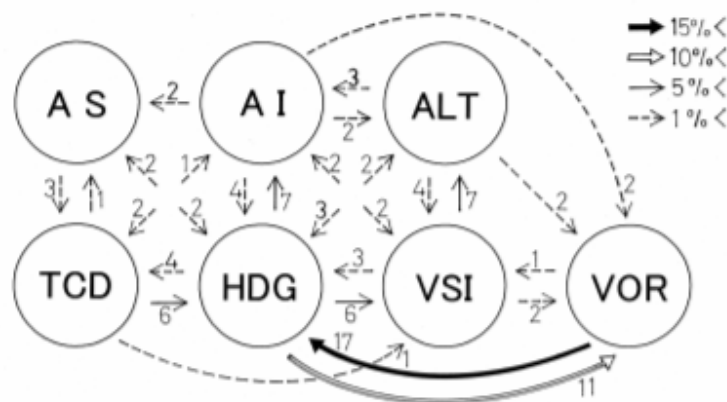
Rozdelenie pozornosti pilotov počas letu taktiež nie je rovnaká od vzletu po pristátie, mení sa na základe priorít, okolností alebo úloh pilota v daný okamih. Pri rozdelení letu podľa pravidiel pre VFR na stúpanie let v hladine a pristávanie tak bolo jednoznačne zistené v práci od Yang et al. [18], že piloti najviac času venujú fixácii pohľadu von s kokpitu. Pri pristávaní to bolo až 82% času venovali pohľadu von, čo je dôkazom toho, že potrebné letové informácie získavajú piloti pohľadom von na horizont, dráhu, budovy a okolitý terén. Takisto priemerný čas fixácie pohľadu von z kokpitu je vo všetkých fázach jednoznačne väčší oproti pohľadu do prístrojov. Najdlhšia priemerná

fixácia nastáva pri pristavaní ukazuje náročnosť danej úlohy a potrebu pilota sa sústrediť na správne pristanie pohľadom von.



Obr. 7 Pohyb očí počas rovného ustáleného letu a stúpania od Rinoie a Sunada [20]

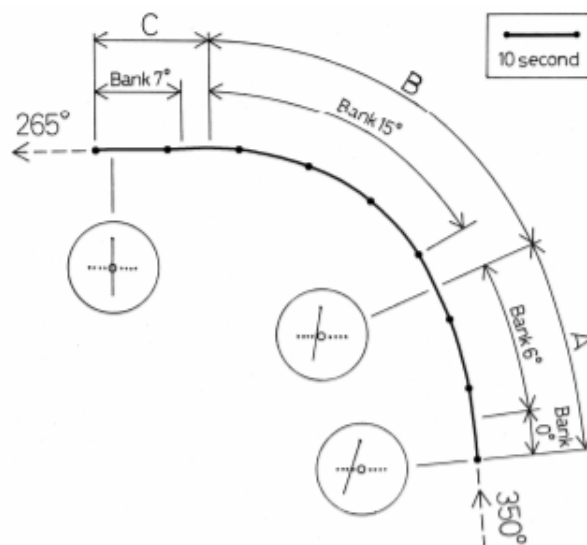
JIANG et al. [19] uvádza, že pri IFR letoch piloti sledujú výškomer častejšie pri zmenách smeru letu. Pri zmenách výšky a smeru letu zas sledujú viac ukazovateľ rýchlosti. Počas ustáleného rovného letu alebo stúpania oči sledujú základne letové prístroje ako sú znázornené na obrázku 7. Pohyb očí môžeme vidieť na tomto obrázku, kde čísla indikujú frekvenciu pohybu očí v percentách z jedného prístroju na druhý v smere šípky. Je znateľné, že oči sa pohybujú primárne po prístrojoch, ktoré sú v štandardnom „T“. Najviac pohybov bolo medzi rýchlomerom a smerovým zotrvačníkom, kedy až 11% celkových pohybov bolo zo smerového zotrvačníku, a z výškomeru smerom na smerový zotrvačník smerovalo až 13% pohybov očí. Na okrajových prístrojoch, ktoré sa nenachádzajú v „T“ je vidieť minimálny počet pohybov očí smerom k nim a od nich.



Obr. 8 Pohyb očí pri nalietnutí VOR od Rinoie a Sunada [20]



Pri nalietnutí VORu sa znižuje pomer sledovania umelého horizontu a rýchlomeru, a naopak sa zvyšuje frekvencia sledovania smerového zotrvačníku a indikátor VORu k správne nalietaniu požadovaného radiálu. Tento pohyb očí pri nalietnutí VORu je znázornený na obrázku 8, kde je vidieť znížená frekvencia pohybu očí v smere „základného T“. Je vidieť vysoké percento pohybov medzi smerovým zotrvačníkom a ukazovateľom VORu, v smere z VOR ukazovateľa k HDG pohyb očí tvorí až 17% zo všetkých pohybov, v opačnom smere je to 15%. Mnoho moderných kokpitov, využíva zlúčenia prístrojov na indikáciu VORu a HDG do jedného prístroja, toto uľahčuje prácu pilotom, nakoľko nemusia neustále rozdeľovať svoju pozornosť na tieto dva prístroje a majú väčšiu kapacitu k sledovaniu zvyšných prístrojov, čo môže viesť k bezpečnejšiemu letu. Schéma nalietnutia radiálu VORu je zobrazená na obrázku 9, môžeme ju rozdeliť do troch fáz A, B a C, kde môžeme sledovať jednotlivé pomery sledovania prístrojov počas daných fáz. V tabuľke 1, sledujeme jednotlivé prístroje a pomer času, ktorý piloti sledovali dané ukazovatele. Z tabuľky je vidieť, že rozdelenie pozornosti nie je rovnaké ani počas tak krátkeho úseku z celkového letu ako je nalietnutie radiálu VORu. Počas fázy A sa hodnoty zhodujú s obrázkom 8, kedy oči prioritizujú ukazovatele VOR a HDG. Pri ďalšej fáze B sa sledovanie VORu výrazne znižuje a taktiež sa znižuje čas strávený sledovaním smerového zotrvačníku. Vo fáze C kedy už lietadlo je usadené na zvolenom radiále sa oči primárne zameriavajú na umelý horizont, smerový zotrvačník a postupne sa oči vracajú k pohybom po prístrojoch po „T“ aj keď čas strávený sledovaním ukazovateľa VORu nie je úplne zanedbateľný.



Obr. 9 Rozdelenie nalietnutia VORu do fáz od Rinoie a Sunada [20]

Tab. 1 Pomer sledovania jednotlivých prístrojov v daných fázach pri nalietnutí VORu podľa Rinoie a Sunada [20]

	A(%)	B(%)	C(%)
AS	0,0	3,1	6,6
AI	2,6	17,5	28,0
ALT	2,0	10,3	8,0
TCD	0,0	10,3	8,4
HDG	43,7	31,2	29,2
VSI	6,7	13,4	9,3
VOR	44,9	14,3	10,5

## 1.7 Rešerš odborných prác

Práce s podobnou tematikou sa zameriavajú rozdielnym časťami letu, typom kokpitu a taktiež porovnáva pilotov na základe ich skúseností. Jedným zo spoločných znakov mnohých štúdií býva sledovanie pohybu očí u vojenských pilotoch. Konkrétne sledovaním pohybových charakteristík očí počas stúpania, klesania na pristanie a počas letu v hladine sa zaoberá Yang et al. [18], kde autori uvádzajú, že pilotáž je vysoko vizuálna aktivita, aby piloti získali správne situačné uvedomenie musia správne sledovať prostredie, v ktorom sa nachádzajú.

Merania od autorov [18] prebiehali na prototypu simulátoru armádneho lietadla, ktorý replikoval správanie reálneho lietadla. Interiér lietadla bol vybavený štandardnými prístrojmi, ručným riadiacim prvkom a pedálmi, ktoré prenášajú reálne sily na pilota. Vizuálne referencie okolia lietadla boli poskytované projekciou obrazu na plátno, táto projekcia zaberala zorné pole o veľkosti 90°. Merania sa zúčastnili 6 pilotov, ktorí boli vycvičení k základným úlohám na danom simulátore. Dáta o sledovaní pohybu očí boli merané zariadením Eyelink II, ktoré mali piloti nasadené na hlave, toto zariadenie získava dáta na základe sledovania zrenice a odrazu zrenice. Simulácie prebiehali pod pravidlami pre VFR a boli rozdelené na samostatné časti. Prvá časť sa zameriavala na pristávanie a trvala približne 50 sekúnd, druhá časť sledovala rovný let, ktorý trval približne jednu minútu a tretia časť sledovala fázu stúpania, ktorá trvala asi 40 sekúnd. Počiatok všetkých častí simulácie bol rovnaký a to vo výške 400 metrov nad zemou a 5400 metrov od stredu dráhy. Ako metóda na vyhodnocovanie dát bolo zvolené rozdelenie na dve oblasti záujmu (AOI) a to na oblasť kedy sa pilot pozerá von z kabíny

a oblasť prístrojov. Zo štúdie autori zistili, že piloti získavajú väčšinu informácií pohľadom von, kedy priemerné dĺžky fixácií, počet fixácií a celková percentuálna doba strávená fixovaním očí bola vždy v prospech pohľadu von, obzvlášť pri pristávaní je pomer najväčší, kde až 82% všetkých fixácií bolo von z kabíny.

Pri kombinácii sledovania ergonómie a pohybu očí sa autori práce [1] zamerali aký vplyv môže mať dizajn kokpitu a rozmiestenie prístrojov na vojenských pilotov, kde sledovali rozdelenie pozornosti a pracovnú záťaž počas zacielenia na stacionárny cieľ. K meraniu bolo prizvaných 57 bojovo vycvičených pilotov, ktorí boli rozdelení do dvoch skupín podľa toho na aký typ stíhačky sú vycvičení. V prvej skupine ich bolo 39 (skupina A) a v druhej 18 (skupina B). Piloti zo skupiny A mali nalietané na danom type od 89 do 2150 hodín a piloti zo skupiny B od 100 do 1200 hodín na konkrétnom type. K meraniu boli využité statické simulátory určené k výcviku pilotov na dané typy strojov, ktoré sú identické s reálnymi lietadlami. Kokpit obsahuje head-up displej (HUD), integrovaný kontrolný panel (ICP), pravý viacúčelový displej (RMFD) a ľavý viacúčelový displej (LMFD). Veľkosti displejov a zobrazovanie symbolov majú mierne odchýlky a nie sú totožné pri oboch typoch lietadiel. Počas merania mali piloti za úlohu zacieliť na stacionárny cieľ na zemi, jednalo sa o takzvanú misiu vzduch-zem. Piloti mali za úlohu z rovného letu vo výške 20 000 ft pri indikovanej rýchlosti 300 kts za VFR zacieliť podľa navigačného systému na cieľ, pritom mali postupovať podľa stanovených postupov, nastaviť správne kódy do systému a letieť podľa navigačného systému. Na snímanie pohybu očí bolo vybrané zariadenie Applied science laboratory (ASL) series 4000, ktoré sníma pohyb očí voči hlave, pričom nesníma pohyb hlavy samotný. Na spracovanie dát bola vybraná metóda rozdeľujúca kokpit na 5 oblastí záujmu: head-up displej, integrovaný kontrolný panel, pravý viacúčelový displej, ľavý viacúčelový displej a pohľad von z kokpitu. K vyhodnocovaniu mentálnej záťaže sa využil NASA task load index, čo je technika určená k zisteniu rôznych záťaží počas experimentu vplývajúcich na jednotlivcov. Na vyhodnotenie situačného uvedomenia pilotov počas experimentu bolo spustené výstražné svetlo v kokpite a bola sledovaná reakcia jednotlivých pilotov na túto signalizáciu. Pri vyhodnocovaní boli namerané výraznejšie rozdiely v percentách fixácií na ICP u skupiny A bolo namerané 4,19% a u skupiny B 8,42% fixácia na daný panel. Pri dĺžke fixácii sa objavili tiež väčšie odchýlky na HUD u skupiny A bola dĺžka 541 ms u skupiny B to bola 468 ms. Mentálna záťaž bola nameraná vyššia u skupiny B, ale celková nameraná záťaž bola vyššia

u skupiny A, pričom autori poukazujú na fakt, že piloti zo skupiny A mali aj vyššie situačné uvedomenie, keďže u skupiny A si až 36 pilotov všimlo výstražnú signalizáciu, u skupiny B to bolo len 10 pilotov, čo mohlo mať vplyv na záťaž na jednotlivcov.

Okrem uvedenej práce sa podobnému zameraniu venuje práca od Li et al. [21], kde autori sledujú správanie očí a záťaž na pilotov pri zacielení na dynamický cieľ. Ďalšie výskumy z oblasti sledovania pohybu očí sa zameriavajú na rôzne oblasti ako môžu byť ergonómia, zábavný priemysel a iné. V tomto kontexte sa napríklad práca Gomolka et al. [22] zameriava na oblasti záujmu, ktoré piloti sledujú počas výkonu úloh a procedúr počas pristátia.

V rámci tejto štúdie sa zúčastnilo celkovo 10 pilotov rozdelených do dvoch skupín po 5, na základe vlastnenia kvalifikácie na lety podľa pravidiel pre IFR a pilotov vycvičených pre lety VFR. Experiment prebiehal na simulátore určenom pre výcvik pilotov ELITE S923 FNPT II MCC, na ktorom bolo nakonfigurované lietadlo typu PA-34 Seneca II. Na meranie pohybu očí bolo využité špeciálne neinvazívne zariadenie Tobii Glasses Pro. Piloti mali za úlohu letieť presné prístrojové priblíženie ILS kategórie 1, ktoré zabezpečuje vedenie jak v horizontálnej tak aj vo vertikálnej rovine. Simulácia prebiehala za podmienok IMC pri RVR 550 metrov a základňou oblačnosti 200 ft nad letiskom. Let začal 7 námorných míľ od dráhy letiska vo výške 3000 ft a končil vo výške rozhodnutia (DH). Jednotlivé prístroje boli rozdelené AOI a bolo namerané u VFR pilotov že svoju pozornosť najviac venujú umelému horizontu a najmenej výškomeru, u IFR pilotov ich pozornosť najviac smerovala tiež na umelý horizont a najmenej na rýchlomer. Autori ale v práci upozorňujú na chybovosť systému a náročnosť pri komplexnejších meraniach, čo znemožňuje ich použitie na meranie v skutočnom lietadle. Taktiež chybovosť nastáva pri pohyboch hlavy a poukazujú na limitácie systému. K vyhodnocovaniu dát bola urobená analýza, pri ktorej sa jednotlivo sledovali oblasti záujmu a postupne priradľovali fixácie jednotlivým prístrojom. Tento postup bol zvolený z dôvodu nepresnosti systému pri pohyboch hlavy.

Predchádzajúca štúdia bola primárne orientovaná na sledovanie pohybu očí pri pristávaní, podobnému výskumnému rámcu sa venovali aj autori, vid' [2]. Iné štúdie sa venujú danej problematike aj z iných smerov, ako Lu et al. [23], kde sa venuje rozdeleniu pozornosti pilotov počas stúpania a vyčkávania.

Autori uvádzajú, že situačné uvedomenie je kľúčové pre udržanie bezpečnosti letu, je silne ovplyvňované okolím, letovými povinnosťami a pilotom samotným. Požiadavky na situačné uvedomenie nie sú rovnaké vždy ale líšia sa od rôznych úloh a povinností počas letu. Práca si dáva za úlohu preskúmať ako udržať a vylepšiť situačné uvedomenie na základe skúseností pilotov a analyzovať charakteristické rozdiely v rôznych fázach letu. Situačné uvedomenie autori práce rozdeľujú na 3 rozdielne levely. Prvý level, ako fázu kedy pilot získava informácie, druhý level je časť kedy pilot sa snaží porozumieť prezentovaným informáciám a tretí je keď pilot vyhodnotí dáta rozhodne ako s nimi ďalej naloží a aký vplyv budú mať na let. Nedostatočné uvedomenie okolia pilota je primárnym faktorom nehôd vo vojenskom letectve a preto je predmetom ďalšej štúdie. Situačné uvedomenie je celkový proces, ktorý je založený na získavaní, spracovaní, predikcie a udržaní informácií.

Meraní na práci [23] sa zúčastnilo celkovo 16 vycvičených vojenských pilotov, v priemere mali nalietaných okolo 1200 hodín a priemerný vek skupiny bol 32 rokov. K meraniu bol použitý prototyp simulátoru, ktorý je replika skutočného kokpitu vojenského lietadla. Kokpit pozostával z panelu prístrojov a ukazovateľov, prvkov na ovládanie lietadla, ovládania prírúste palíva do motoru. Obrázovky, ktoré mali piloti pred sebou replikovali kontrolný panel prístrojov a pohľad von z kabíny. Úloha pilotov pozostávala z dvoch častí, zo základnej úlohy a akrobatickej. Za základnú úlohu sa považuje ustálené stúpanie, ako akrobatická úloha sa akceptuje kruhový obrazec vyčkávania. Piloti mali za pravidiel VFR vykonať v jednom lete obe časti merania. V prvej časti piloti mali za úlohu vyletieť do výšky 2000 ft nad zemou, udržovať rýchlosť 600 m/s po dobu 30 sekúnd. V druhej časti piloti mali za úlohu letieť kruhový obrazec s náklonom 45°, pričom mali udržovať rovnakú rýchlosť a výšku ako v predošlej časti. Kokpit lietadla bol rozdelený na tri oblasti záujmu a to na: pohľad von lietadla, podhľad na panel prístrojov a pohľad na HUD displeju. Bolo zistené, že počet fixácií a čas fixácií bol výraznejšie väčší na pohľad von z kabíny pri akrobatickej činnosti ako pri stúpaní. Počas stúpania boli vyššie dĺžky fixácií a počet fixácií na integrovaný panel a head-up displej ako pri vyčkávaní. Štúdiou bolo zistené, že piloti majú skutočne rozdielne vzory pohybu očí pri sledovaní prístrojov a okolia pri rôznych úlohách, ktorým sú vystavení.

Jedným z ďalších pohľadov sledovania rozdelenia pozornosti sa naskytá pri rozdielnych skúsenosti pilotov, tejto problematike sa venuje práca od Lounis et al. [24]. Autori popisujú, že počas letu si piloti musia udržovať a postupne obnovovať svoje

situačné uvedomenie, k tomu slúžia špecifické letové prístroje ako rýchlo-mer, výškomer, umelý horizont ukazovateľa stavu motoru a vonkajšie prostredie. Monitorovanie je kritické v dynamických a rýchlo-meniacich sa fázach letu ako s vzlet a pristátie. NTSB zistilo, že až 84% vážnych nehôd je spôsobených nedostatočným monitorovaním kokpitu a okolitého prostredia pilotom. Práca ďalej popisuje, že s výcvikom a narastajúcimi skúsenosťami sa zlepšuje vizuálny sken pilotov, čo napomáha a zlepšuje celkovú výkonnosť pilota počas výkonu úloh. Cieľom práce bolo zistiť ako presne sa líši pohyb očí u začiatočníkov a skúsených pilotoch.

Na meraniach k práci sa zúčastnilo 32 pilotov, piloti neboli informovaní presne o cieľi štúdie, aby nemohli ovplyvniť výsledok. Boli rozdelení na dve skupiny na základe náletu pilotov. Prvá skupina pozostávala zo 16 nováčikov, kde bol priemerný vek 25,7 rokov, ktorí mali len základne vzdelanie v leteckom inžinierstve a boli oboznámení, čo jednotlivé prístroje indikujú a ako s nimi pracovať, ako aj na interakciu s riadením simulátoru. Experiment bol nastavený tak, aby k jeho vykonaniu nebola potrebná komplexná navigácia alebo iné vstupy, ktoré by mohli priamo znevýhodňovať nováčikov. V skupine skúsených pilotov je celkovo 16 pilotov s priemerným vekom 34,4 rokov a minimálne s 1600 nalietanými hodinami, priemer bol 4321 hodín. Všetci títo piloti mali spoločné, že lietali na lietadle typu Airbus A320. K meraniu bol využitý statický simulátor lietadla A320, ktorý mal rozmiestenie prístrojov a ovládanie lietadla rovnaké ako v skutočnom lietadle. Úlohou účastníkov bolo vykonať tri pristátia, ktoré sa od seba líšili náročnosťou na prevedenie. Prvé pristátie bolo najľahšie na pracovnú záťaž, kde mali meraní nahlas prečítať čas, ktorý sa zobrazoval na ND. Pri druhom pristátí mali účastníci prečítať vzdialenosť lietadla od letiska každých 0,5 nm, ktorá sa taktiež zobrazovala na ND. Pri treťom bolo úlohou prečítať vzdialenosť každých 0,2 nm z ND. Na sledovanie pohybu očí bolo vybraté zariadenie Smart Eye remote eye tracker, tento systém kombinuje informácie z obrazu s 3D modelom oka, pre lepšie vyhodnocovanie pohybu očí. Práca ukázala, že skúsení piloti majú kratšie priemerné časy zamerania sa na jedno miesto, pri porovnaní s nováčikmi ako pri stredne náročnom pristátí tak pri náročnom. Nováčikom priemerný čas sledovania jedného miesta narástol pri zvýšení náročnosti pristátia. Pri kombinácii všetkých 3 pristátí, tak nováčikovia majú celkovo väčší priemerný čas sústredenia na jedno miesto ako skúsení piloti, ale celkový počet fixácií mali väčší skúsení piloti. Tieto dáta indikujú, že skúsení piloti svojim pohľadom prechádzajú z jedného prístroju na druhý rýchlejšie ako

nováčikovia a strávia menej času jeho sledovaním, čo im môže pomáhať ku skoršiemu zisteniu zmien stavu lietadla a lepšiemu celkovému situačnému uvedomeniu. Kratší čas sledovania jednotlivých prístrojov môže vyplývať z faktu, že skúsení piloti presne chápu a rozumejú týmto ukazovateľom, ale nováčikovia môžu mať problém so správnou interpretáciou.

## **1.8 Limitácie súčasného stavu**

V spomínaných prácach je kladený dôraz na rozdelenie pozornosti na základe fixácií a dĺžky jednotlivých fixácií a nie priamo na pohyb očí samotný. Taktiež sa niektoré práce zameriavajú na porovnanie pilotov, ktorých sú už sami vlastníkami licencií a nie vo výcviku, čo nám neponúka náhľad na formovanie a utváranie patternov akými piloti vo výcviku sledujú a rozdeľujú svoju pozornosť počas letu alebo štúdie porovnávajú pilotov v podstate s nulovými nalietanými hodinami s expertmi s mnohoročnými skúsenosťami a nemáme poznatky ako sa vyvíja rozdelenie pozornosti, kde robia chyby začiatočníci, ako sa mení ich pozornosť počas výcviku. Pri meraní začiatočníkov bez skúseností celkovo alebo na danom type lietadla môžu byť odchýlky v rozdielnych výsledkoch naprieč skupinami spočívať v nedostatočnom chápaní a interpretovaní prezentovaných informácií na prístrojoch.

Mnoho štúdií sa venuje vojenským pilotom, čo môže byť spôsobené rýchlejšim vývojom v oblasti dizajnu a celkovým vývojom vo vojenskom odvetí letectva ako v civilnom. Jedným z dôvodov ako štúdia [23] je množstvo nehôd vo vojenskom letectve kde je hlavnou príčinou zlé rozdelenie pozornosti pilotov. Taktiež z dôvodu uľahčenia práce pilotom pri výkone náročných bojových alebo akrobatických úloh, počas letu vo vysokých rýchlostiach a pri vysokom pracovnom zaťažení aby došlo k menšej pracovnej záťaži na pilota, celkovej nehodovosti a chybovosti pilotov. Rovnaké úvahy a metódy merania nemôžu byť celkom aplikované na civilných pilotov ako na vojenských pilotov, nakoľko obe skupiny majú výcvik založený na rozdielnych účeloch a cieľoch. Jednotlivé merania sa odohrávajú na simulátoroch armádnych lietadiel, ktoré sa líšia s civilnými v rozhraní prístrojov, ovládaním a rozdielnou prácou pilota na nich.

Pri určitých štúdiách je simulovaný let za IMC podmienok, toto núti pilotov bez prístrojovej kvalifikácie do sledovania prístrojov na ktorý ešte neabsolvovali výcvik

a nezobrazuje ako rozdeľujú pozornosť piloti s aj bez prístrojovej kvalifikácie, keď im je k dispozícii aj vizuálne referencie pohľadom von z kabíny.

Na meranie sa do súčasnosti v mnohom využívali špeciálne okuliare, cez ktoré pilot vidí na kokpit, tieto okuliare obsahovali kamery na sledovanie pohybu očí a toho, čo pilot videl, taktiež sa využíva headset, ktorý rovnako využíval kamery na sledovanie pohybu očí a prostredie meraného. Tieto systémy majú dané limitácie, ktoré môžu spôsobovať chybovosť a nepresnosť v meraní. Medzi tieto limitácie patria ako pohyb hlavy meraných subjektov a hĺbka obrazu, ktorý subjekt sleduje, tieto limitácie sa dajú určitými nástrojmi obísť, ale to vytvára väčšiu časovú náročnosť na meranie a hodnotenie zameraných dát. V štúdiách autori uvádzajú, že subjekty museli minimalizovať svoje pohyby hlavou aby nebola narušená integrita merania. S použitím zariadenia, ktoré je nám dostupné na Ústave leteckej dopravy, Fakulty dopravní ČVUT, by sme mali docieľiť aby pri meraniach neboli piloti obmedzovaní pohybmi hlavou. Po celkovej analýze odborných prác a vhodných metód bola k vyhodnoteniu merania v bakalárskej práci zvolená metóda kombinujúca oblasti záujmu s vizualizáciou pohybu očí, táto metóda s porovnaním zvyšných metód, ktoré využívali spomenuté štúdie má výhodu priamo vo vizualizácií pohybov oka, čo nám poskytuje nový náhľad na problematiku rozdelenia pozornosti.



## 2 Metodika experimentu

### 2.1 Demografia subjektov

Na meraniach sa celkovo zúčastnilo 23 účastníkov, z ktorých všetci sa nachádzajú v určitom rozsahu v štádiu výcviku. Konkrétne účastníci merania boli vo veku od 20 rokov po 24 rokov ( $M=22$ ,  $SD=0,77$ ), 22 účastníkov boli muži a jedna žena. Väčšina subjektov absolvuje svoj výcvik v dvoch leteckých školách a to F-AIR (30,6%), a DSA (56,6%), v zvyšných leteckých Blue Sky Aviation, Mega Air a Ok Air lieta po jednom účastníkovi.

Tab. 2 Demografia účastníkov merania

Premenné	Skupiny	Rozdelenie
Vek	20-21	4 (17,4%)
	22-24	19 (82,6%)
Pohlavie	Muži	22 (95,7%)
	Ženy	1 (4,3%)
Letecká škola	Blue Sky Aviation	1 (4,3%)
	DSA	13 (56,5%)
	F-AIR	7 (30,6%)
	Mega Air	1 (4,3%)
	Ok Air	1 (4,3%)
Štádium výcviku	Odlietal VFR noc	4 (17,4%)
	Začal simulátor	8 (34,8%)
	Lieta IFR na lietadle	11 (47,8%)
Držiteľom licencie	Nie je držiteľom licencie	9 (39,1%)
	PPL(A)	11 (47,8%)
	CPL(A)	3 (13,1%)
Celkový počet nalietaných hodín	0 - 100h	3 (13,1%)
	101 - 200h	17 (73,8%)
	201h - a viac	3 (13,1%)
Ročník štúdia	3. ročník	20 (86,9%)
	4. ročník	3 (13,1%)
Posledný pilotovaný let meraného	posledný let v 30 dňoch od merania	18 (78,2%)
	viac ako 30 dní od merania	5 (21,8%)

Na meranie boli prizvaní študenti, ktorí mali minimálne odlietanú časť výcviku VFR noc v počte 4 (17,4%), ďalej študenti, ktorí už vo výcviku prešli na simulátor započali IFR v počte 8 (34,8%). Študentov, ktorí už lietajú IFR lety na lietadlách bolo 11 (47,8%) z celkových 23. Väčšina meraných sú už držiteľmi určitej licencie a to 11 (47,8%) je

držiteľom PPL(A) a 3 (13,1%) CPL (A), 9 (39,1%) nie je držiteľom licencie. Meraní boli študenti vysokoškolského štúdia patriacich do 3. a 4. ročníka, v 3. ročníku bolo 20 (86,9%) a vo 4. ročníku boli 3 (13,1%). Celkový nálet meraných bol medzi 70 hodinami a 300 hodinami ( $M=160$ ,  $SD=49,9$ ). Prevažne sa jednalo o študentov, ktorí mali svoj posledný let v rozmedzí 30 dní od merania, len 5 účastníkov absolvovalo svoj let neskoršie ako 30 dní od merania. Popísané základné demografické informácie o účastníkoch je možné vidieť v tabuľke 2.

*Tab. 3 Rozdelenie účastníkov na základe odlietanych hodín v jednotlivých častiach*

Počet odlietanych hodín v jednotlivých častiach výcviku	Skupiny	Rozdelenie
VFR	0 - 90h	7 (30,4%)
	91 - 180h	15 (65,2%)
	181h a viac	1 (4,4%)
Simulátor	0h	3 (13,1%)
	1 - 20h	5 (21,8%)
	21 - 40h	9 (39,1%)
	41h a viac	6 (26%)
IFR na lietadle	0h	11 (47,8%)
	1 - 20h	8 (34,8%)
	21h a viac	4 (17,4%)

Po rozdelení nalietaných hodín účastníkov merania na jednotlivé časti sledujeme, že v časti VFR je nálet od 70 hodín do 220 hodín ( $M=100$ ,  $SD=32,1$ ). Na simulátore je rozsah nalietaných hodín od 9 do 50 hodín ( $M=40$ ,  $SD=16,9$ ), z čoho 3 študenti neabsolvovali hodiny výcviku na simulátore. V počte nalietaných hodín v lietadle za IFR je nálet meraných od 4 do 60 hodín ( $M=13$ ,  $SD=23,4$ ). Presnejšie dáta o nalietaných hodinách účastníkov sú zobrazené v tabuľke 3.

V dotazníku boli študenti opýtaní na skúsenosti s analógovým a glass kokpitom v jednotlivých častiach výcviku a na akých typoch lietadiel prebiehal ich výcvik. Toto rozdelenie je zobrazené v tabuľke 4. Väčšina študentov mala skúsenosti v určitom rozsahu s analógovým kokpitom, na ktorom bude prebiehať meranie. Taktiež 95% študentov, ktorých výcvik prebieha alebo prebehol na simulátore, mal analógove prístroje, len jeden študent absolvoval výcvik na simulátore, ktorý mal glass cockpit. Niektorí meraní mali skúsenosť s typom lietadla Cessna C172, na ktorom prebiehalo

meranie, vo VFR sa s ním stretlo 5 študentov z toho 4 priamo na C172 s analógovými ukazovateľmi, a pri IFR to bolo 8 meraných.

*Tab. 4 Rozdelenie študentov podľa toho s akým typom lietadla a kokpitu majú skúsenosti v jednotlivých častiach výcviku*

<b>Štádium výcviku</b>	<b>Typ lietadla</b>	<b>Druh kokpitu</b>	<b>Rozdelenie</b>
VFR a VFR noc	C150/C152	Analóg	14 (60,9%)
	C150	Glass kokpit	1 (4,4%)
	C172	Glass kokpit	1 (4,4%)
	C172	Analóg	4 (17,4%)
	Tecnam P2008JC/P2002JF	Glass kokpit	7 (30,4%)
Simulátor	FNTP II - PA-34	Analóg	19 (95%)
	FNTP II - PA-34	Glass kokpit	1 (5%)
IFR v lietadle	C172SP	Glass kokpit	8 (57,1%)
	C172RG	Analóg	2 (14,3%)
	P2006T	Glass kokpit	4 (28,6%)

Účastníci merania boli rozdelení do troch skupín, na základe toho v akej fáze výcviku sa nachádzajú, a to konkrétne na tých, ktorých výcvik prebieha podľa pravidiel pre VFR, následne na tých, ktorí v čase merania lietalí výcvik na simulátore a tých, čo lietajú podľa pravidiel IFR na lietadle. Do prvej skupiny spadali 4 piloti, ich nálet bol od 70 hodín po 150 hodín ( $M=110$ ,  $SD=46,2$ ) s vekovým priemerom 22,3 rokov, jeden z pilotov absolvoval 15 h na simulátore a 5 h v ifr lietadle, ale nezačal plnohodnotný IFR výcvik a tým pádom sa radí medzi pilotov vo VFR fáze. V druhej skupine bolo 8 pilotov s celkovým náletom od 115 hodín do 160 hodín ( $M=125$ ,  $SD=22,9$ ), s náletom na simulátore od 9 do 45 hodín ( $M=20$ ,  $SD=14,7$ ) a vekovým priemerom 22 rokov. Do tretej skupiny pilotov patrilo 10 pilotov a jedna pilotka s celkovými nalietami hodinami v rozmedzí od 152 hodín do do 300 hodín ( $M=175$ ,  $SD=41,9$ ), ifr náletom od 4 do 65 hodín ( $M=14$ ,  $SD=23,5$ ) a s priemerným vekom pilotov 22 rokov.

## 2.2 Vybavenie k experimentu

K meraniu experimentu bol použitý predom postavený simulátor na Ústave leteckej dopravy, Fakulty dopravní ČVUT. Experiment prebiehal zariadením na virtuálnu realitu japonskej firmy FOVE 0, obrázok 9. Toto zariadenie okrem vytvárania virtuálnej reality dokáže merať zabudovanými kamerami pohyb očí meraného, čo z tohto zariadenia robí ideálne k experimentu. FOVE 0 sa využíva vo vývojárskom odvetí na vývoj nových

počítačových hier. Displej v zariadení disponuje technológiou OLED z rozlíšením 2560 x 1440 pixelov, pričom na jedno oko pripadá polovičné rozlíšenie, keďže každá polovica displeja zobrazuje panoráma pre každé oko samostatne. Obnovovacia frekvencia obrazu je 70 fps, zobrazovaný obraz má záber zorného poľa do 100°. Obnovovacia frekvencia eye-trackingu je 120 fps a presnosť sledovania očí 1,15°. Meranie pohybu očí zabezpečuje 6 infračervených diód, tieto diódy sledujú pohyb zorníc. Váha headsetu je 520 g, pre správne držanie headsetu na hlave sú po bokoch pásky na nastavenie správnej polohy. Na snímanie náklonu, polohy, sklonu a natočenia hlavy je k headsetu snímač a kamera, ktorá tieto výchylky sníma. K zberu dát bol na fakulte vytvorený program nakoľko, software od výrobcu dovoľoval len zobrazovanie dát v reálnom čase. Toto ponúka výhodu s porovnaním s inými systémami, pri ktorých počas meraní subjekty musia minimalizovať svoje pohyby hlavy k presnejším meraniam. Jedná sa už o model, ktorý je už 4 roky starý ale aj tak ponúka výhody oproti modernejším zariadeniam, keďže novšie nedisponujú systémom na zachytenie pohybu očí.



*Obr. 9 Zariadenie FOVE 0 [25]*

K ovládaniu lietadla v simulátore v priečnej a pozdĺžnej ose bol použitý joystick zobrazený na obrázku 10 typu Saitek pro flight yoke system, na ktorom je možné ovládať nastavenie klapiek a trim lietadla. K dispozícii boli páky k ovládaniu výkonu motoru a pedále k ovládaniu lietadla v zvislej ose. Na obrázku 11 je zachytený subjekt počas merania v simulátore. Typ joysticku a rozmiestenie ovládačov pripomínal rozmiestenie ako v skutočnom lietadle typu C172, na ktorom experiment prebiehal.



*Obr. 10 Joystick, s pedálmi a ovládacími pákami na ovládanie simulátoru[26]*

K najlepšiemu rozlíšeniu obrazu a práci headsetu je na fakulte k dispozícii výkonný počítač, ktorý dokáže okrem simulácie aj zaznamenávať potrebné dáta k experimentu. Počítač disponuje komponentmi: procesorom Intel Core i9 9900KF, grafickou kartou NVidia RTX 2080 Super, veľkosťou pamäte RAM 16 GB a SSD diskom. Meranie prebiehalo v programe X-Plane 11 Flight Simulator. Tento simulátor má výhodu oproti iným, že ponúka zaznamenávanie dát o lietadle počas letu.



*Obr. 11 Subjekt počas merania experimentu*

## **2.3 Nastavenie merania**

Experiment prebiehal na Ústave leteckej dopravy, Fakulty dopravní ČVUT . Po príchode boli respondenti oboznámení s experimentom bakalárskej práce, priebehom celého merania a ovládaním simulátoru, boli informovaní, že všetky nimi poskytnuté

informácie a výsledky merania sú anonymné a len k účelom bakalárskej práce. Následne účastníci vyplnili dotazník (príloha 1) k zisteniu demografických údajov, taktiež im bola k dispozícii príletová mapa letiska v Turany v Brne (príloha 2) aby sa mohli zoznámiť s letiskom a prejsť si dôležité body a údaje o priblížení.

Simulácia počas merania prebiehala na lietadle typu Cessna C172SP, ide o modernejšiu verziu lietadla amerického výrobcu C172, ktoré je v produkcii už od roku 1956. Jedná sa o lietadlo využívané mnohými leteckými školami a civilnými pilotmi. Ide o lietadlo najviac vyrábané v počte kusov na svete, bolo ich vyrobených viac ako 44 000 kusov celosvetovo[27], prevyšujúc aj vojenské lietadlá v počte vyrobených kusov. Palubné prístroje boli vybraté analógové, oproti novšiemu glass kokpitu poskytujú výhodu pri hodnotení rozdelenia pozornosti, lebo pri nich je možné lepšie určiť, ktorý prístroj pilot sleduje. Pri digitálnych prístrojoch meranie nemusí byť natoľko presné, keďže rozmiestnenie zobrazovaných informácií z prístrojov je viac kompaktné, bližšie k sebe a prekrýva sa navzájom, toto by viedlo k chybám pri meraní. Taktiež výcvik pilotov začína vo väčšine prípadoch na analógových prístrojoch, alebo určitá časť výcviku na nich prebieha, na základe toho môžeme usúdiť, že piloti budú disponovať dostatočným chápaním a rozumením informáciám zobrazovaných na budíkoch prístrojoch ako by bolo pri glass kokpite. Verzia lietadla v simulátore bola schopná na IFR let aby bolo na nej možné letieť prístrojové pristátie.



Obr. 12 Distribúcia nehôd v častiach letu za obdobie 2001-2020 [28]

Na meranie bola zvolená časť IFR letu konečného priblíženia a pristátie. Táto časť bola vybraná z dôvodu, že sa jedná o najviac nehodovú časť letu. Na obrázku 12 je zobrazený graf, na ktorom je distribúcia nehôd počas rôznych častiach letu za obdobie 2001-2020. Počet nehôd je najväčší počas pristávania a tvorí výrazne najviac všetkých nehôd za toto obdobie, ale len istá časť končí smrteľnými následkami. Fáza priblíženia je tretia celkovo v počte nehôd ale zároveň, ale je v tejto fáze najväčšia úmrtnosť pri nehodách. Druhou najviac nehodovou časťou letu je vzlet kedy dochádza k ani nie polovici v počte nehôd pri porovnaní s pristátím. Počas IFR priblíženia a pristávania je kladený veľký dôraz na sledovanie prístrojov, počas krátkeho časového úseku nastáva veľa zmien, na ktoré musia piloti reagovať, piloti sú pod vysokým zaťažením nakoľko ide o časť letu kde odchýlky od stanoveného profilu letu sú jedny z najmenších a musia komunikovať so stanovišťom ATC.

K experimentu bolo vybrané letisko Turany v Brne (BRQ/LKTB), jedná sa letisko s hlavnou spevnenou dráhou 09/27 a jednou nespevnenou 08/26, ktorá je využívaná minimálne počas prevádzky letiska. Toto letisko bolo vybrané, z dôvodu, že sa jedná o menšie prístrojové letisko, s jednoduchým dráhovým systémom, taktiež sa jedná o letisko, ktoré je využívané k výcvikovým účelom pre VFR a aj IFR pilotom v Českej republike a nemalo by dávať výraznejšiu výhodu jednej alebo druhej skupine pilotom. Letisko disponuje systémom ILS, ktorý patrí k najviac využívaným systémom na prístrojové priblíženia.

Pre meranie boli zvolené meteorologické podmienky VMC, aby nedochádzalo ku znevýhodňovaniu pilotov, ktorý sa ešte nedostali k IFR výcviku a nebolo by možné sledovať interakcie pohybu očí medzi vonkajším prostredím a prístrojmi u pilotov. Dohľadnosť bola viac 10 km, bez oblačnosti v okolí letiska a bezvetrie.

Simulácia začínala v predĺženej osi dráhy 27 vo vzdialenosti 10 nm od prahu dráhy 27 vo výške 3000 ft nad hladinou mora, toto dávalo čas subjektom k dorovnaní určitých odchýliek a zoznámiť sa s ovládaním simulátoru. Bod konečného priblíženia (FAP) na dráhu 27 sa nachádza 7 nm od prahu dráhy. Meraní leteli prvé 3 nm v horizonte vo výške 3000 ft, až kým nezachytili vertikálne vedenie zostupovej roviny (glideslope), toto by malo nastať vo bode konečného priblíženia. Od tohto bodu študenti mali zahájiť klesanie po zostupnej rovine na pristátie. Klesanie malo byť ustálené pri vertikálnej rýchlosti 400 až 500 ft/min a indikovanej vzdušnej rýchlosti (IAS) medzi 90 a 100 kts.

## 2.4 Zber a spracovanie dát

Z merania boli zaznamenávané letové dáta zo simulátora X-Plane 11 do textového súboru, tieto dáta boli tvorené napríklad informáciami o polohe lietadla, otáčkach motoru, množstve paliva na palube alebo o prepnutí spínačov do rôznych polôh. Dáta z eye-trackingu boli zaznamenávané už vytvoreným programom na ULD FD, ktorý zaznamenáva okrem súradníc polohy očí účastníka, tak aj polohu hlavy, náklon hlavy, žmurkanie očí. Pri pohyboch hlavy sa dáta o súradniciach očí ukladajú relatívne voči každému snímku. Ďalej bolo nahrávané video obrazovky kde bolo vidieť rovnaký obraz aký bol prímietaný pilotom počas merania. Tento záznam bol nahrávaný voľne dostupným programom OBS Studio. Všetky tieto dáta boli ukladané do zložiek pre každého účastníka jednotlivo, k zjednodušeniu práce s nimi a prehľadnosti.

Na spravovanie a vyhodnotenie merania bola zvolená metóda kombinácie oblasti záujmu a vizualizácie dráhy pohybu očí. Vybrané oblasti záujmu (classes) boli: pohľad von z kabíny, motorové prístroje, AS, AI, ALT, CDI, TI, HDG, VSI, druhý CDI ukazovateľ bez indikácie zostupovej roviny (v práci označovaný ako OBS), ukazovateľ otáčok motora, ADF a panel s rádiom a GPS. K vyhodnoteniu a spracovaniu bol vytvorený software, za spolupráce s Ing. Tomášom Malichom a vedúcim práce, ktorý používal nahrané video letu a namerané dáta z eye-trackingu. Tento software využíval počítačový algoritmus „machine learning“, tento proces patrí pod umelú inteligenciu. Princíp tohto procesu je zdokonaľovanie softwaru, ktorý si následne vie vytvoriť model na základe vstupných dát (training data), a spracovať následne zvyšné dáta.



Obr. 13 Spracovanie snímky obrazovky



K vytvoreniu training data bolo potrebné vyrezať z dostatočného počtu snímok obrazovky z videí z merania jednotlivé prístroje a pohľad von, tento postup bol časovo náročný, čo kiedlo k využitiu programu na rozpoznávanie objektov na obrázkoch. Pre tento program bolo taktiež nutné vytvoriť databázu obrázkov jednotlivých prístrojov, ukážka spracovania jednej snímky je vidieť na obrázku 13, s ktorou program môže ďalej pracovať a rozpoznávať prístroje automaticky na ďalších snímkach obrazovky, čím vytvorí väčšiu databázu obrázkov v kratšom časovom rozmedzí. Na základe takto vytvorenej dostatočne veľkej databáze obrázkov je to možné zadať do programu, ktorý sa na základe obrázkov prístrojov naučí rozpoznávať jednotlivé prístroje a vie ich určiť vo videu. Po kombinácii zmeraných súradníc z eye-trackingu a schopnosti programu rozpoznania prístrojov vie program určiť a priradiť, ktorý prístroj oko pilota sleduje v určitom čase. Z tohto nám vznikne určitá tabuľka pre každého meraného samostatne, podobná zobrazenej tabuľke 5, ktorá je len vo všeobecnej forme. V tejto tabuľke je rozdelené každé oko do samotného stĺpcu, a program vie určiť kde sa oko fixovalo v danom čase.

*Tab. 5 Generická tabuľka zobrazenia fixácií každého oka samostatne v čase*

Timestamp	Left eye	Right eye
t1	class1	class1
t2		
t3		
t4	class3	class3
t5		
t6	class2	class2
t7		
...	...	...
...	...	...
...	...	...
tn	classP	classP

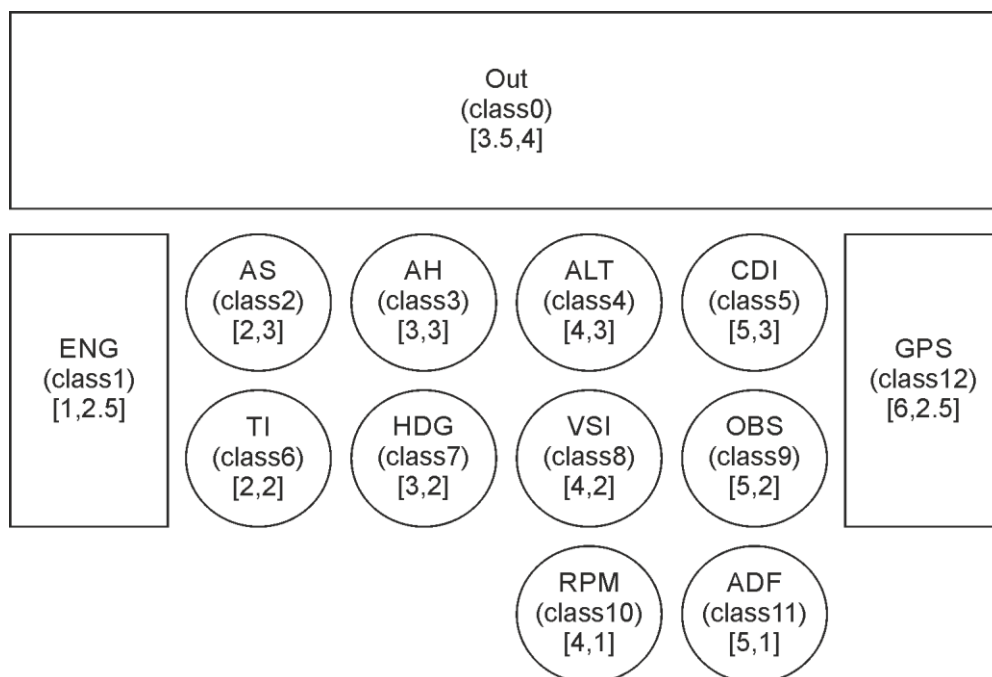
Aby sme získali informáciu o čase( $t$ ) kedy oko sleduje konkrétny prístroj musíme poznať poradové číslo snímky( $N$ ), na ktorej oko sleduje konkrétny prístroj a potom sa použije vzťah 1.

$$t[s] = \frac{N}{30fps} \quad (1)$$

Prázdny riadok v takto vygenerovanej matici bola priradená kategória class0, ktorá reprezentovala polohu fokusu pravého a ľavého oka mimo špecifikované AOI. Class 0 je ďalej z praktických dôvodov prezentovaná ako pohľad von z kabíny. Aj keď je možné, že súradnice očí nespádajúce do žiadnej AOI nemuseli striktne určovať pohľad z kabíny von, z charakteru zaznamenaných dát vyplýva, že pravdepodobnosť pohľadu inde je veľmi malá.

V niektorých prípadoch nastalo, že v jednom čase spadali súradnice oka do dvoch classov (AOI). Dôvodom bolo, že pri spracovaní videa a označovaní AOI sa tieto mohli v niektorých framoch prekrývať. Tento zdanlivý problém, týkajúci sa neistoty určenia pohľadu bol vyriešený spôsobom, kedy sa porovnali AOI oboch očí v konkrétnom čase. Ak existovali dve rovnaké classy pre obe oči bol pre ďalšie spracovanie použitý tento spoločný class. V prípade, v konkrétnom čase neexistoval spoločný class, riadok nebol pre hodnotenie uvažovaný, vzhľadom k vneseniu neistoty do hodnotenia.

Následne bola dátová tabuľka upravená tak, že každý class sa nahradil súradnicou konkrétneho AOI (prístroja, respektíve prístrojového bloku), vid' obrázok 14.



Obr. 14 Vytvorený súradnicový systém pre jednotlivé AOI, využitý pri hodnotení dát

Po pridelení súradníc jednotlivým classom bolo možné dopočítať, v vektorový smer pohľadu medzi jednotlivými AOI v čase. Tento vektor bol zapísaný do Matice T, ktorá mala nasledujúci tvar

$$\begin{bmatrix} t1 & x1 & y1 & u1 & v1 \\ t2 & x2 & y2 & u2 & v2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ tn & xn & yn & un & vn \end{bmatrix}$$

kde  $t(i)$  je časová vzorka,  $x(i)$  a  $y(i)$  sú súradnice charakterizujúce fixácie očí na špecifické AOI v konkrétnom čase a  $u(i)$  a  $v(i)$  sú zložky vektoru  $V$ . Vektor  $V$  je teda možné zapísať ako  $V_i=[u_i,v_i]$  a bol vypočítaný ako

$$V_i = [x_{i+1} - x_i, y_{i+1} - y_i].$$

Takto zostavená matica nesie po riadkoch, jednak informácie o fixácií na AOI a taktiež informácie o pohybe prostredníctvom zložky vektoru  $V$ . Pokiaľ sú zložky vektoru  $V$  nulové, tj.  $u(i)$  a  $v(i) = 0$ , je možné tvrdiť, že fokus ostáva v rovnakom AOI. V inom prípade dochádza k pohybu očí z jedného AOI na iný. Uvedený prístup bol využitý pre ďalšie spracovanie dát, ktoré sa orientovalo len na prípady, kedy došlo k pohybu očí. Matica  $T$  teda bola zredukovaná na prípady, v ktorých dochádzalo k pohybu.

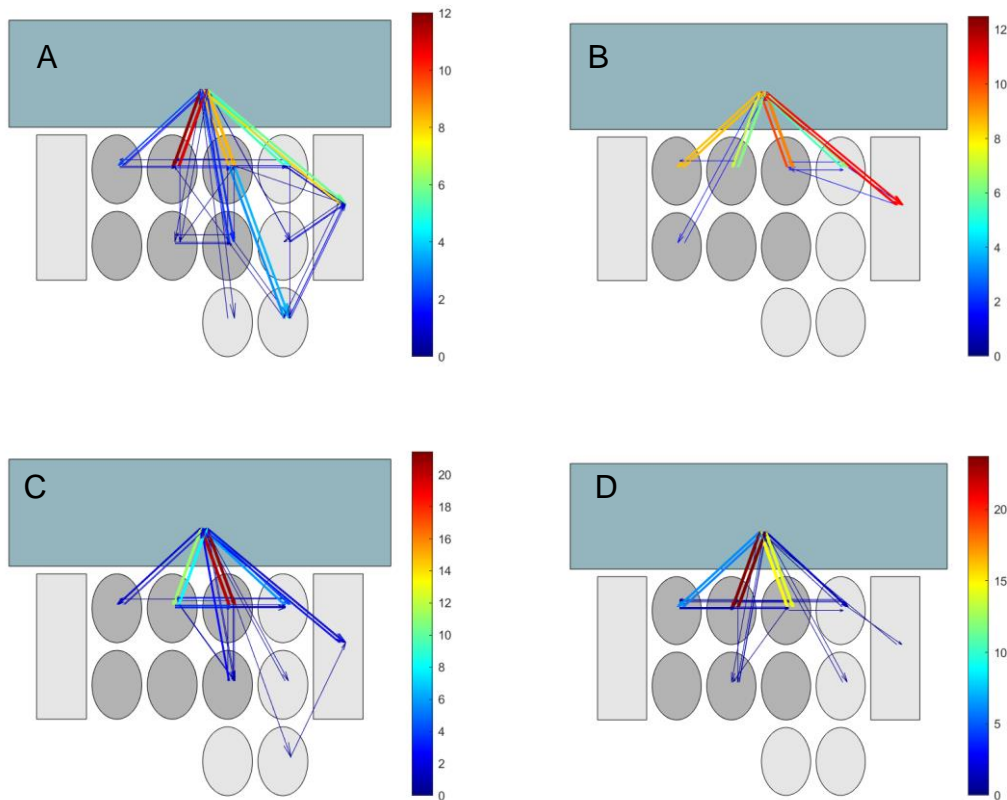
Keďže súradnice každého AOI sú unikátne (viď Obr. 14), bolo ich možné meniť za kategorické premenné charakterizujúce každý prístroj a naopak. Inými slovami, bolo možné jednoducho zistiť početnosti zmeny jednotlivých prechodov medzi AOI (prístrojmi), graficky prezentovať tieto početnosti pomocou farebného kódovania a taktiež zapísať ich výskyt do matice výsledkov uvažujúc každý subjekt.

Farebné škály volené pre prezentáciu výsledkov v nasledujúcej kapitole boli vytvorené pre mapu farieb „jet“ v rozsahu špecifických RGB farieb nafitovaných na vektor  $C=[0,\max(P)]$ , kde  $P$  je najvyšší počet pozorovaní skenovacieho paternu medzi dvoma AOI. Pre lepšiu čitateľnosť týchto grafov bol ku každej súradnici v matici  $T$  pridaný náhodný šum so súčasným zohľadnením smeru skenovacieho paternu. Uvedené bolo nutné vykonať vzhľadom k faktu, že jednotlivé línie grafu by ležali na sebe a ďalšie intuitívne hodnotenie týchto grafov by nebolo možné.

### 3 Výsledky

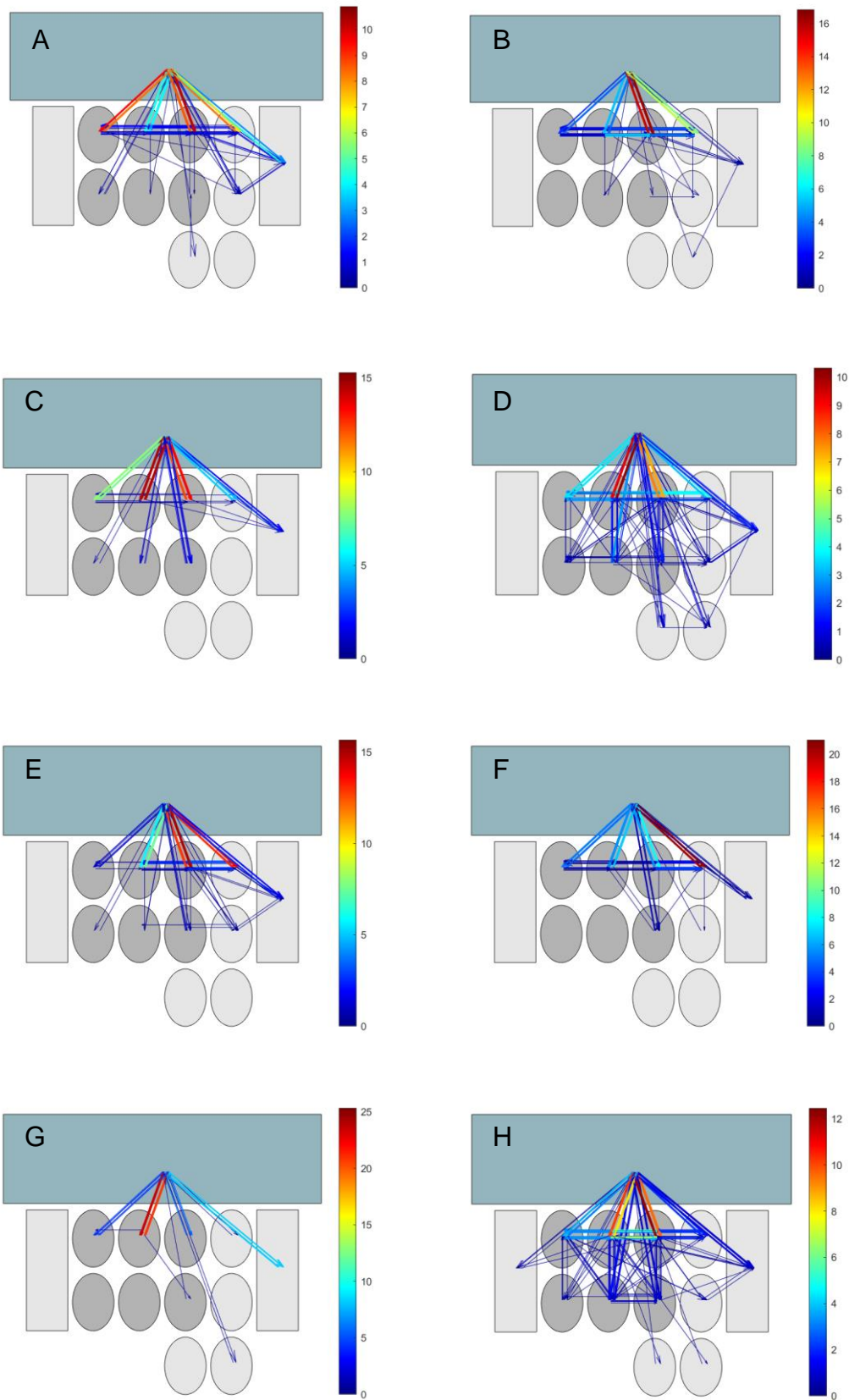
Výsledky bakalárskej práce sú prezentované na obrázkoch 15, 16 a 17. Obrázky reprezentujú jednotlivých pilotov počas merania a rôznou farebnosťou zobrazujú počet pohybov smerom danej šípky. Na obrázku 15, kde sú výsledky vizualizácie skupiny 1, toto sú piloti len so skúsenosťami z VFR letov. Je vidieť, že skenovací pattern je oveľa jednoduchšieho charakteru ako pri porovnaní na obrázku 17, kde sú zobrazené výsledky pilotov, ktorí lietajú IFR na lietadlách. Pohyby očí VFR pilotov smerovali prevažne smerom von z kabíny, na umelý horizont, rýchlomer, výškomer a panel s GPS a rádiom. Je vidieť, že piloti získavali referencie prevažne pohľadom von, nakoľko pohybov smerom na a z CDI je menej v porovnaní s pilotmi lietajúcich na simulátore a IFR pilotov. Na výsledkoch pilotoch skupiny 1 je vidieť, že ich pattern skenovania nie úplne sledoval prístroje rozmiestené do „T“, je ale vidieť náznaky tohto správania na obrázku 15-A a 15-D. Ani jeden z VFR pilotov neskontroloval motorové prístroje a otáčkomer počas simulácie priblíženia. Na obrázku 15-B je vidieť, že pohyby očí tohto pilota vychádzali prevažne cez pohľad von z kabíny a neboli vo veľkej miere v horizontálnej rovine pri prechode cez panel prístrojov.

Obrázok 16 zobrazuje dráhy pohybu očí u pilotov lietajúcich výcvik na simulátore v čase experimentu. Na vizualizáciach je možné sledovať zložitosť patternov od jednoduchších podobným VFR pilotom po komplexnejšie, ktoré sa viac podobajú skupine 3. Vzory pohybov očí po „T“ prístrojoch je vidieť na obrázkoch 16-D a 16-H, tieto patterny sú taktiež viac komplexnejšie v porovnaní so zvyškom skupiny 2, v menších náznakoch na 16-A a 16-B je taktiež vidieť sledovanie po „T“. Pri obrázkoch 16-C, 16-E a 16-G je vidieť, že piloti vychádzali prevažne z pohľadu von a smerovali na konkrétne prístroje. Môžeme pozorovať, že piloti sledovali CDI, VSI vo väčšom rozsahu ako piloti skupiny 1. Iba jeden z pilotov skontroloval motorové prístroje 16-H a otáčky motora boli skontrolované pilotmi z obrázkov 16-A, 16-D a 16-H. Je vidieť viac smerov pohybu v horizontálnom smere po paneli prístrojov pri porovnaní s predchádzajúcou skupinou, a z toho je vidieť, že piloti sa zameriavajú už viac na sledovanie prístrojov, z ktorých získavajú referencie ako čisto z pohľadu von.

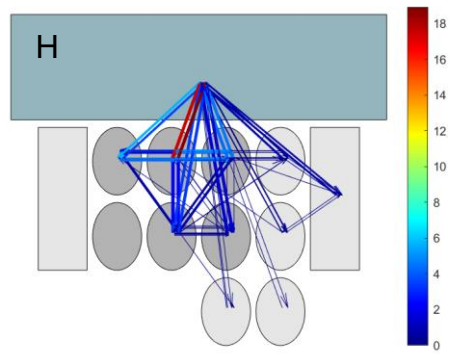
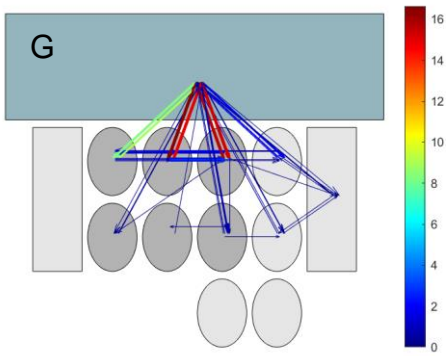
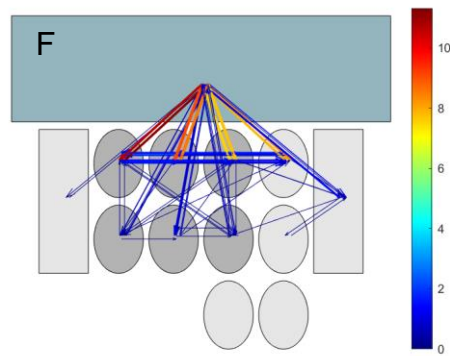
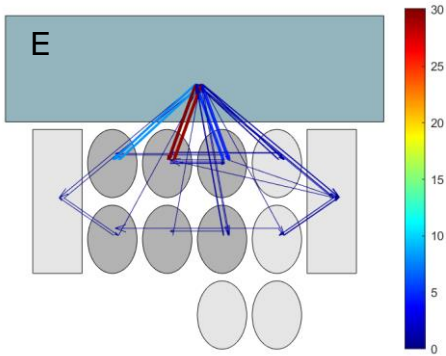
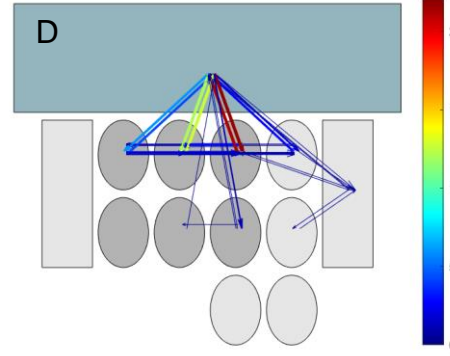
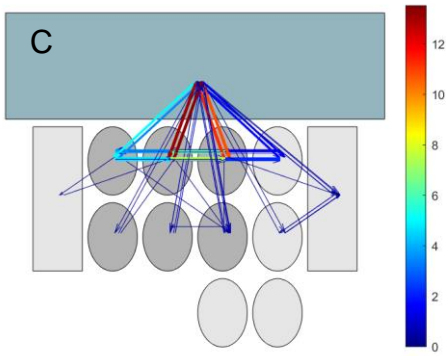
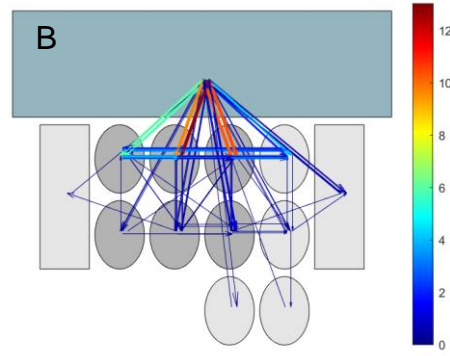
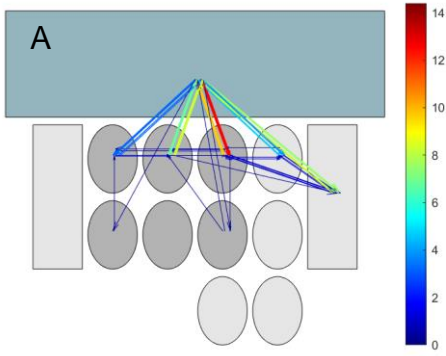


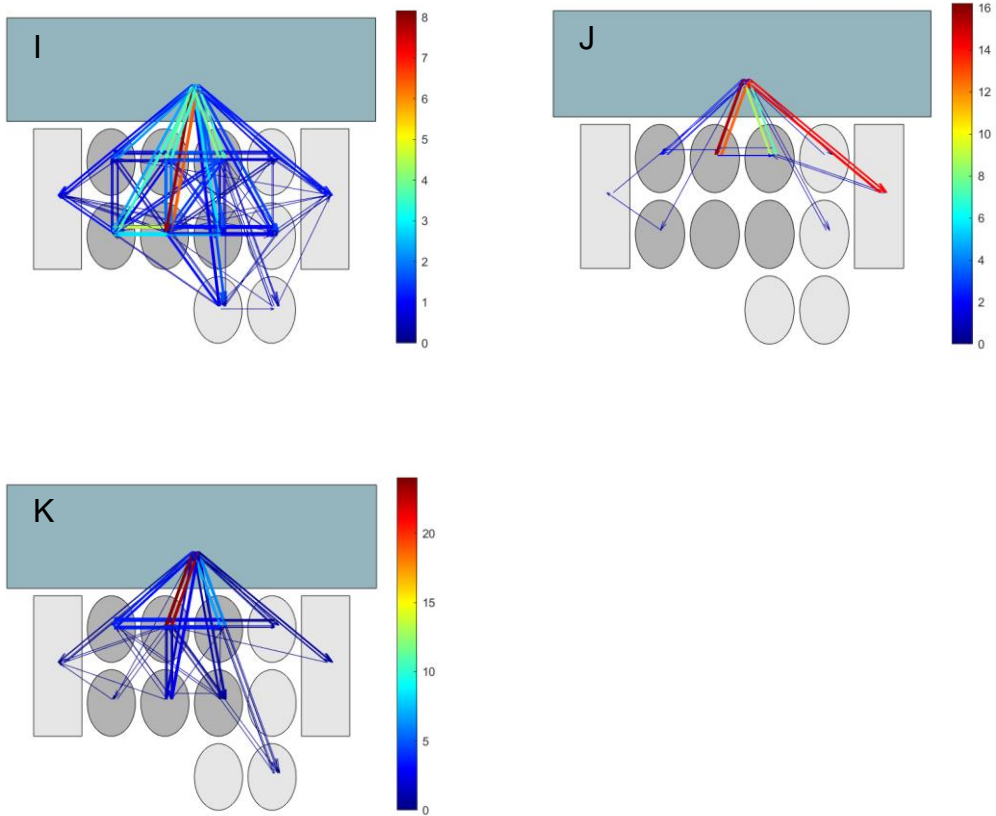
Obr. 15 Vizualizácia pohybu očí u skupiny pilotov so skúsenosťami s VFR noc (skupina 1)

Obrázka vizualizácie pohybov očí u skupiny 3 je zobrazená na obrázku 17. Piloti tejto skupiny viac sledovali potrebné prístroje k priblíženiu ILS, kde smerovali ich oči. Na prístroj CDI smeroval ich pohľad nie len z pohľadu von ale aj z ostatných prístrojov, veľká väčšina pohybov boli v horizontálnom smere cez vrchný rad prístrojov. U väčšiny je vidieť pohyby po základných „T“ prístrojoch. Niektoré z vizualizácií sú jednoduchšieho charakteru, ale stále týto piloti sledujú potrebné prístroje. Na obrázkoch 17-A a 17-J je vidieť, že týto piloti viac vychádzali z pohľadu von, z ktorého smerovali na jednotlivé prístroje a v podstate viac referencií získavali vizuálne. U 7 pilotoch je vidieť, že pohľadom skontrolovali aj motorové prístroje a nastavenie otáčok motora sledovali piloti z 17-B, 17-H a 17-I. Podľa farebnosti pohybov je vidieť, že väčšina pohybov bola stále v smere na a z AOI pohľadu von, ale taktiež veľké množstvo pohybov bolo v rámci panelu prístrojov. Všetci piloti naprieč skupinami mali tendenciu sledovať panel s GPS. Celkovo je možné pozorovať, že s narastajúcimi skúsenosťami narastajú počty pohybov očí u pilotov a záber sledovania prístrojov, kde piloti zo skupiny 1 sledujú len určité množstvo prístrojov, tak u skupiny 3 piloti rozdeľujú svoju pozornosť na oveľa väčšie množstvo prístrojov.



Obr. 16 Vizualizácia pohybu očí u skupiny pilotov so skúsenosťami zo simulátoru (skupina 2)





Obr. 17 Vizualizácia pohybu očí u pilotov, ktorí lietajú IFR na lietadle (skupina 3)



## 4 Diskusia

Výsledky merania majú široký záber, každá skupina pilotov má svoje špecifiká ale je možné sledovať podobnosti aj naprieč skupinami. Výsledky skupiny 1 sa zdajú na prvý pohľad podobné, kde pohyby očí pilotov tejto skupiny sú hlavne medzi rýchlomerom, výškomerom a pohľadom von, toto môže vychádzať z poznatku, že títo piloti lietajú zatiaľ podľa pravidiel pre VFR, a majú práve návyky na sledovanie týchto AOI, hlavne na pohľad von z kabíny. U tejto skupiny pilotov je vidieť prekvapivo väčšie množstvo pohybov na umelý horizont a na opak, čo mohlo byť spôsobené väčšou snahou sledovať prístroje pri meraní ako by bola za bežného letu.

U skupiny 2 je skenovací vzorec viac rozdielnejší pri porovnaní s predchádzajúcou skupinou. Niektorí z pilotov majú skenovací pattern viac približujúci sa skupine 1 a iní skupine 2. Toto pravdepodobne môže byť spôsobené rozdielnymi skúsenosťami IFR letu na simulátore. Taktiež tieto rozdiely môžu byť vytvorené dobou od posledného letu, kedy piloti s letom v rozmedzí niekoľkých dní od merania mohli byť lepšie pripravení oproti tým, čo dlhšiu dobu neabsolvovali let na simulátore. Nakoľko sa jednalo o priblíženie ILS a pristátie, tak táto úloha vo výcviku na simulátore prichádza až v neskoršej časti, čo mohlo tiež ovplyvniť správanie pilotov, ktorí ešte neabsolvovali túto úlohu a tým pádom môžu mať podobné reakcie na meranie ako mali piloti skupiny 1, pričom už majú naučené určité návyky IFR letu na simulátore, čo zas docieli určitú rozdielnosť s touto skupinou.

Skupina 3 vo výsledkoch taktiež nebola veľmi vyrovnaná, niektoré vizualizácie sú podobnejšie skupine 2 a iné zas ukazujú v celku rozvinutý skenovací vzor. Rozdiely môžeme ako pri skupine 2 prisudzovať doby medzi posledným letom a meraním. Je však vidieť, že celkovo počet pohybov sa zväčšil pri porovnaní so skupinou 1, toto je možné odôvodniť tým, že piloti lepšie rozumejú prístrojom a tomu, čo im je prezentované a to im dovoľuje sledovať jednotlivé prístroje kratšie a častejšie, taktiež už majú lepšie vytrénované návyky na rozdelenie pozornosti za letu, čo im dáva výhodu hlavne oproti skupine 1.

Je prekvapivé množstvo pilotov, ktorí neprešli pohľadom na stav motoru na motorových prístrojoch počas celého simulovaného letu a taktiež nastavenie otáčok motora. Naprieč všetkými tromi skupinami je zaujímavé, že všetci piloti v určitej časti

letu prešli pohľadom na panel s GPS a rádiom, na ktorom im neboli zobrazované žiadne dodatočné informácie, u skupín 2 a 3 by to mohlo byť vysvetliteľné, že majú návyk si skontrolovať nastavenie v navigácii alebo frekvencie rádia, kedy vlastne v tejto časti letu môže prísť od ATC požiadavka na zmenu frekvencie a kontaktovanie miestneho stanovišťa ATC na cieľovom letisku. Keďže sa jednalo o IFR let za VMC, mohlo by sa zdať že piloti skupiny 2 a 3 budú menej pozeráť von z kabíny, ale naopak v množstve interakcií s ostatnými AOI bol najdominantnejší práve pohľad von, a je vidieť že všetci piloti pri dobrých meteorologických podmienkach využijú pohľad von z kabíny. Je vidieť určitý trend, že s narastajúcimi skúsenosťami narastá aj počet prístrojov, ktoré piloti sledujú. Jedna z možností vysvetlenia tohto faktu môže vyplývať už zo zmieneného, že piloti s väčšími skúsenosťami pravdepodobne lepšie rozumejú zvyšným prístrojom a vedia ich lepšie využiť vo svoj prospech, alebo môžu mať väčšiu kapacitu na sledovanie zvyšných prístrojov a využívajú maximum, z dostupných prostriedkov. Celkovo sa meranie dá považovať za uspokojujúce, nakoľko boli zamerané výraznejšie rozdiely naprieč skupinami pilotov, ktoré z časti potvrdili úvahy vychádzajúcich z iných prác.

## 5 Záver

Bakalárska práca sa venovala rozdeleniu pozornosti počas IFR letu u pilotov v rôznych fázach výcviku. Hlavným cieľom bolo využitie sledovania pohybu očí k hodnoteniu rozdelenia pozornosti. K meraniu sme mali k dispozícii zariadenie na Ústave leteckej dopravy FD ČVUT, kde aj prebiehal experiment. K meraniu bola zvolená len záverečná časť letu a to ILS priblíženie a pristátie. Tento typ priblíženia patrí k vysoko rozšíreným prístrojovým priblíženiam a taktiež štatisticky vychádza táto časť letu ako najviac nehodovou. Po spracovaní nameraných dát boli výstupy práce spracované na vizualizácie pohybu očí, kde sú vyobrazené pohyby medzi jednotlivými prístrojmi a početnosť týchto pohybov.

Najzložitejšia a najnáročnejšia časť práce bolo organizácia merania a vyhodnotenie dát. Z organizačného hľadiska bol jeden z problémov aby sa dostavilo na meranie dostatočné množstvo pilotov počas celosvetovej pandémie koronavírusu. Do skupiny 1 patria 4 piloti a bolo by vhodné kebyže by sa zúčastnilo viac VFR pilotov, čo by mohlo ukázať nové pohľady na výsledky. Taktiež niektorých subjektov bolo nutné zmerať opakovane, nakoľko z prvého letu nebol nahratý záznam letu a dáta o pohybe očí, toto mohlo dať výhodu týmto pilotom vo forme lepšie vžitia so simulátorom a s rozhraním. Pri hodnotení dát nastali miestami chyby v priradovaní AOI k jednotlivým framom, a v niektorých prípadoch nemohli byť uvažované tieto dáta pri hodnotení, keďže sa z nich nedalo jednoznačne určiť čo subjekt sleduje, tento problém by bolo možné vylepšiť presnejšími obrázkami AOI, ktoré by zachytávali presné budíky a nie aj ich okolie. Z kapacitných a časových podmienok bola volená na meranie len určitá časť letu a piloti boli vsadení rovno do simulácie lietadla, ktoré sa nachádzalo tesne pred započatím klesania na pristátie, čo mohlo negatívne ovplyvniť správanie pilotov.

V závere sa potvrdili úvahy, ktoré boli prezentované vo vybratých odborných prácach, kde so skúsenosťami pilotov narastá počet pohybov a piloti využívajú viac dostupných zdrojov. Ale v porovnaní s týmito prácami žiadna z nich nevyužívala a nevyhodnocovala sledovanie pohybu očí v podobnom rozsahu, a v podobnej forme. Bakalárska práca sa priamo zameriava na pohyb očí a skúma jeho celkový skenovací pattern. Ukázalo sa, že piloti aj s väčšími skúsenosťami s IFR majú stále potrebu na pohľad von z kabíny keď im to podmienky dovoľia.

Na základe tejto práce sa do v budúcnosti dá pokračovať z rôznych pohľadov na túto problematiku, jedným z ďalších pokračovaní by sa ponúkalo sledovať rozdelenie pozornosti pilotov počas letu pri IMC podmienkach, alebo pri iných podmienkach kedy piloti majú zhoršený výhľad von z kabíny taktiež s porovnávaním pilotov v rôznom štádiu výcviku. Taktiež by sa naskytovala možnosť sledovať celý IFR let od vzletu po pristátie, kedy by sa mohlo sledovať ako pilot rozdeľuje pozornosť počas vzletu, stúpania, letu v hladine, príletu, priblíženia a pristátia. Z pohľadu vizualizácie pohľadov nie je jasné, kedy presne pilot sledoval dané AOI a preto sa ponúka otázka, či by nebolo možné rozdeliť fázu priblíženia a pristátia na časti a sledovať ešte rozdelenie pozornosti týmto spôsobom. Celkovo je táto metóda so zariadením a softwarom schopná meraníam s podobným zameraním, a okrem spomenutých pokračovaní tohto projektu ponúka aj mnohé ďalšie pohľady.

# Zoznam literatúry

- [1] LI, Wen-Chin, Chung-San YU, Matthew GREAVES a Graham BRAITHWAITE. How Cockpit Design Impacts Pilots' Attention Distribution and Perceived Workload during Aiming a Stationary Target. *Procedia Manufacturing* [online]. 2015, **3**, 5663-5669 [cit. 2021-6-23]. ISSN 23519789. Dostupné z: doi:10.1016/j.promfg.2015.07.781
- [2] SKVAREKOVA, Iveta a Filip SKULTETY. Objective Measurement of Pilot's Attention Using Eye Track Technology during IFR Flights. *Transportation Research Procedia* [online]. 2019, **40**, 1555-1562 [cit. 2021-6-23]. ISSN 23521465. Dostupné z: doi:10.1016/j.trpro.2019.07.215
- [3] EGGERT, Thomas. Eye Movement Recordings: Methods. STRAUBE, A. a U. BÜTTNER, ed. *Neuro-Ophthalmology* [online]. Basel: KARGER, 2007, 2007, s. 15-34 [cit. 2021-08-01]. *Developments in Ophthalmology*. DOI: 10.1159/000100347. ISBN 3-8055-8251-X. Dostupné z: <https://www.karger.com/Article/FullText/100347>
- [4] FITTS, Paul. JONES, Richard E a MILTON, John N. Eye movements of aircraft pilots during instrument-landing approaches. *Aeronautical Engineering Review*, 9(2), 1950
- [5] DUCHOWSKI, Andrew T. *Eye Tracking Methodology* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2017 [cit. 2021-8-7]. ISBN 978-3-319-57881-1. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-57883-5
- [6] MILLER, Haylie a Nicoleta BUGNARIU. Level of Immersion in Virtual Environments Impacts the Ability to Assess and Teach Social Skills in Autism Spectrum Disorder. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking* [online]. 2016, **19**(4), 246-256 [cit. 5.8.2021]. ISSN 2152-2715. Dostupné z: doi:10.1089/cyber.2014.0682
- [7] LAVY, Sarel, Javier IRIZARRY, Masoud GHEISARI, Graceline WILLIAMS a Kathy ROPER. Ambient intelligence environments for accessing building information. *Facilities* [online]. 2014, **32**(3/4), 120-138 [cit. 2021-8-7]. ISSN 0263-2772. Dostupné z: doi:10.1108/F-05-2012-0034

- [8] Raschke, Michael & Blascheck, Tanja & Burch, Michael & Kurzhals, Kuno & Pflueger, Hermann. (2014). Visualization of eye tracking data. *Cognitive Processing*. 15. S25-S25 [cit. 04.07.2021]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/279034734\\_Visualization\\_of\\_eye\\_tracking\\_data](https://www.researchgate.net/publication/279034734_Visualization_of_eye_tracking_data)
- [9] Heatmapping Tools Show What's "Hot" on Your Pages – Digital.gov. Digital.gov — Guidance on building better digital services in government [online][cit. 04.07.2021]. Dostupné z: <https://digital.gov/2014/04/04/heatmapping-tools-show-whats-hot-on-your-pages/>
- [10] NAQSHBANDI, Khushnood, Tom GEDEON a Umran Azziz ABDULLA. Automatic clustering of eye gaze data for machine learning. In: *2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)* [online]. IEEE, 2016, 2016, s. 001239-001244 [cit. 2021-8-7]. ISBN 978-1-5090-1897-0. Dostupné z: doi:10.1109/SMC.2016.7844411
- [11] Göbel, Fabian & Martin, Henry. (2018). Unsupervised Clustering of Eye Tracking Data. [cit. 2021-8-7]. Dostupné z: doi:10.3929/ethz-b-000290476.
- [12] BURCH, Michael, Alberto VENERI a Bangjie SUN. Exploring eye movement data with image-based clustering. *Journal of Visualization* [online]. 2020, **23**(4), 677-694 [cit. 2021-8-7]. ISSN 1343-8875. Dostupné z: doi:10.1007/s12650-020-00656-9
- [13] Mealha, Oscar & Veloso, Ana & Almeida, Samuel & Rodrigues, Rui & Roque, Licinio & Marques, Ricardo & Manteigueiro, Catarina. (2011). Eye Tracking Data Representation and Visualization: on Information and Communication studies at CETAC.MEDIA. [cit. 2021-8-7] Dostupné z: doi:10.13140/RG.2.1.2934.4401.
- [14] Bojko, Aga (2013). Eye tracking the user experience, A practical guide to research[online] 223-224. 2013. [cit. 2021-8-7]. ISBN 1-933820-10-1

- [15] ČESKÁ REPUBLIKA. *L6 Provoz letadel, část I*. In: . 2012, ročník 2012, 35/2012-220-SP/2. Dostupné také z: [https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-6/L-6i/data/print/L-6-L\\_cely.pdf](https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-6/L-6i/data/print/L-6-L_cely.pdf)
- [16] DIAZ, Jose L., Cees BIL a Adrian DYER. Visual Scan Patterns of Expert and Cadet Pilots in VFR Landing. In: *17th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference* [online]. Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2017, 2017-06-05, s. - [cit. 2021-6-26]. ISBN 978-1-62410-508-1. Dostupné z: doi:10.2514/6.2017-3777
- [17] HAREIDE, Odd Sveinung a Runar OSTNES. Scan Pattern for the Maritime Navigator. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* [online]. 2017, **11**(1), 39-47 [cit. 2021-8-7]. ISSN 2083-6473. Dostupné z: doi:10.12716/1001.11.01.03
- [18] YANG, Chengjia, Zhongqi LIU, Qianxiang ZHOU, Fang XIE a Shihua ZHOU. Analysis on Eye Movement Indexes Based on Simulated Flight Task. HARRIS, Don, ed. *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2014, 2014, s. 419-427 [cit. 2021-7-3]. Lecture Notes in Computer Science. ISBN 978-3-319-07514-3. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-07515-0\_42
- [19] JIANG, Xudong, Masayuki ARAI, Guojian CHEN, Felisia NOVITA SARI, Paulus INSAP SANTOSA a Sunu WIBIRAMA. *Comparison expert and novice scan behavior for using e-learning* [online]. In: . 2017-6-19, 104430E- [cit. 2021-7-3]. Dostupné z: doi:10.1117/12.2280731
- [20] RINOIE, Kenichi a Yasuto SUNADA, *Efficient eye-scanning for reducing pilot workload-single pilot IFR and VFR flight tests*-[online]. Tokyo, Japan: Department Aeronautics and Astronautics, University of Tokyo, 2002 [cit. 2021-7-3]. Dostupné z: [https://www.icas.org/ICAS\\_ARCHIVE/ICAS2002/PAPERS/762.PDF](https://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2002/PAPERS/762.PDF)

- [21] LI, Wen-Chin, Chung-san YU, Graham BRAITHWAITE a Matthew GREAVES. Interface Design and Pilot Attention Distribution Whilst Pursuing a Dynamic Target. HARRIS, Don, ed. Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics [online]. Cham: Springer International Publishing, 2015, 2015-7-21, s. 408-415 [cit. 2021-7-22]. Lecture Notes in Computer Science. ISBN 978-3-319-20372-0. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-20373-7\_39
- [22] Gomolka Z., Twarog B., Zeslowska E., Kordos D. (2020) Registration and Analysis of a Pilot's Attention Using a Mobile Eyetracking System. In: Zamojski W., Mazurkiewicz J., Sugier J., Walkowiak T., Kacprzyk J. (eds) Engineering in Dependability of Computer Systems and Networks. DepCoS-RELCOMEX 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 987. Springer, Cham. [cit. 2021-7-3] [https://doi.org/10.1007/978-3-030-19501-4\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-030-19501-4_21)
- [23] LU, Tianjiao, Zhenshan LOU, Feng SHAO, Xuqun YOU a Menghan TANG. Attention allocation in pilots based on climbing and circling mission behavior. Psychological Research [online]. 2021, 85(3), 1136-1145 [cit. 2021-7-23]. ISSN 0340-0727. Dostupné z: doi:10.1007/s00426-020-01324-1
- [24] LOUNIS, Christophe, Vsevolod PEYSAKHOVICH, Mickaël CAUSSE a Peter James HILLS. Visual scanning strategies in the cockpit are modulated by pilots' expertise: A flight simulator study. PLOS ONE [online]. 2021, 16(2) [cit. 2021-7-23]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0247061
- [25] FOVE 0 im Test - VR·Nerds. Virtual Reality, Augmented Reality und Mixed Reality News & Reviews [online]. Copyright ©2016 vrnerds.de [cit. 26.07.2021]. Dostupné z: <https://www.vrnerds.de/fove-0-im-test/>
- [26] [online]. Dostupné z: <https://www.logitechg.com/en-us/products/flight/flight-yoke-system-rudder-pedals-bundle.html>
- [27] Cessna 172: Still Relevant | Flying. Aviation, Airplanes, News & Training | Flying [online]. Copyright © [cit. 28.07.2021]. Dostupné z: <https://www.flyingmag.com/story/aircraft/cessna-172-still-relevant/>



[28] Accidents by flight phase | Airbus Accident Statistics. A Statistical Analysis of Commercial Aviation Accidents 1958-2017 | Airbus [online]. Copyright © 2021, Airbus SAS. All Rights Reserved. [cit. 28.07.2021]. Dostupné z: <https://accidentstats.airbus.com/statistics/accident-by-flight-phase>

# Príloha 1

## Meranie BP simulátor FOVE 0

*Všetky odpovede sú len k účelom mojej Bakalárskej práci a budú anonymné. V práci nebudú uvedené vaše osobné údaje a ani meno.*

Identifikácia respondenta: .....

Pohlavie: Ž / M

Vek: .....

Ročník štúdia: .....

V akej leteckej škole prebieha väčšina môjho výcviku: .....

Som držiteľom licencie: .....

Zakrúžkuj čo ťa najviac vystihuje:

mám odlietanú VFR noc - začal som už simulátor - lietam IFR na lietadle

Celkový počet nalietaných hodín: .....

Z toho VFR hodín: .....

Na akom type lietadla prebiehala väčšina VFR výcviku (analog-glass cockpit):

Počet odlietaných hodín na simulátore: .....

Na akom type lietadla prebiehala väčšina simulátoroveho výcviku  
(analog-glass cockpit):

Z toho IFR hodín na lietadle: .....

Na akom type lietadla prebiehala väčšina IFR výcviku (analog-glass cockpit):

Kedy bol môj posledný let: .....

# Príloha 2

Printed from JeppView for Windows 5.3.0.0 on 20 May 2021; Terminal chart data cycle 10-2021; Notice: After 27 May 2021, 0000Z, this chart may no longer be valid

