



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
Ústav letecké dopravy

**Zhodnocení schopnosti reakce řídicího letového provozu
v závislosti na HMI**
**Evaluation of air traffic controller's response capability in relation
to HMI**

Bakalářská práce

Studijní program: Bakalářský

Studijní obor: LED – Letecká doprava

Vedoucí práce: Ing. Terézia Pilmannová, MBA

Josef Votápek

Praha 2022

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):

Josef Votápek

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – LED – Letecká doprava

Název tématu (česky): **Zhodnocení schopnosti reakce řídicího letového provozu v závislosti na HMI**

Název tématu (anglicky): Evaluation of Air Traffic Controller's Response Capability in Relation to HMI

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je za pomoci simulátoru ATC zhodnotit schopnost reakce řídicího letového provozu v souvislosti s různými grafickými nastaveními situačního zobrazení.
- Analyzujte pracovní procesy a úkony řídicího v souvislosti s HMI rozhraním.
- Navrhněte experiment sledující pozornost řídicích s cílem zaznamenat schopnost řídicích detekovat cíl v souvislosti s různými grafickými nastaveními pozadí situačního zobrazení, barvy písma, fontu a množstvím informací na letovém štítku.
- Navržený experiment ověřte v rámci simulace s použitím řídicích letového provozu, resp. populačního vzorku, zaznamenejte vliv různých grafických nastavení situačního zobrazení v rozhraní simulátoru Escape Light na schopnost reakce subjektů.
- Zhodnoťte výstupy experimentu s ohledem na čas, který řídicí potřebuje k detekování cílů a vkládání různého typu informací do situačního zobrazení s použitím SW na zaznamenávání pohybu myši, zvukového záznamu a videozáznamu.
- Navrhněte nejvhodnější HMI situačního zobrazení pro efektivní řízení letového provozu.



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: HUM-SIM PRINCIPLES FOR THE DESIGN OF RADAR SIMULATION EXERCISES AND COURSE DEVELOPMENT, EUROCONTROL, 2015
Jean-Paul Imbert, H.M Hodgetts, Robert Parise, François Vachon, Frédéric Dehais, et al.. Attentional costs and failures in air traffic control notifications. Ergonomics, Taylor & Francis, 2014.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Terézia Pilmannová, MBA**

Datum zadání bakalářské práce: **8. října 2021**
(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: **30. listopadu 2022**

- 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



prof. Ing. Ondřej Příbyl, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Josef Votápek
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 9. srpna 2022



Abstrakt

V rámci přirozené potřeby nadále zdokonalovat a revidovat proces bezpečnosti a efektivity v řízení letového provozu je nutné se zaměřit na tuto klíčovou problematiku z různých úhlů pohledu a podrobit jej řádnému výzkumu. Proces interakce člověka s počítačovým rozhraním je jednou kapitolou v tomto odvětví řešerše. Celkové parametry interakce, jak na straně člověka, tak na straně rozhraní, mají různé možnosti nastavení, které je potřeba podsunout k dalšímu zkoumání. Jedním parametrem je i grafické nastavení situačního zobrazení a to, jak vizuálně působí na člověka, resp. na jeho výkonnost. Právě tato část problematiky je tématem této práce.

Klíčová slova: grafické nastavení, pozornost, reakční doba, rozhraní, řízení letového provozu, situační povědomí



Abstract

According to natural demand to continuously improve and revise process of safety and effectivity in air traffic control, it's necessary to focus on this key problematic from different perspectives and secure the highest possible level of research in this area. Process of interaction between human being and machine interface is only one of many chapters in this area of research. Complex parametres of this interaction on both sides have different levels of possible settings and it's important to forward them for another investigation. One of many parametres in this case is a graphical setting of situational display and the way how it visually acts to a person when looking at it. It also may affect a one's performance state. Exactly such a part of the whole problematic is a topic of this thesis.

Keywords: air traffic control, attention, graphical settings, interface, reactional time, situational awareness



Poděkování

Rád bych tímto poděkoval celé mé rodině a přátelům za podporu po celou dobu studia a psaní této práce. Dále bych chtěl poděkovat vedoucí mé práce, Ing. Terézii Pilmannové, MBA, za cenné rady a konzultace. Taktéž si velmi vážím pomoci Stanislava Schmidta v průběhu celé praktické části této práce. Děkuji Vám všem.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou/diplomovou práci s názvem *Název práce* vypracoval/a samostatně a použil/a k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské/diplomové práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 30. listopadu 2022

.....
Podpis



Obsah

Úvod	12
1. Současný stav problematiky	13
1.1 Human Machine Interface	13
1.2 Grafické rozhraní HMI	14
1.3 Navrhování GUI	14
1.4 Vliv GUI na výkonnost ATCO	15
1.4.1 Stylizace barev	15
1.4.2 Nastavení fontu	16
1.4.3 Množství informací v elektronickém formuláři	16
1.4.4 Vzhled GUI jednotlivých poskytovatelů	17
1.5 Escape Light	20
1.6 Situační povědomí	21
1.7 Pozornost.....	22
1.8 Výzkumy a studie	23
2. Limitace současných výzkumných aktivit	26
3. Cíl práce.....	27
4. Metodika experimentů	28
4.1 Koncepce cvičení	28
4.2 Transkripce komunikace nultého scénáře	29
4.3 Nultý scénář	32
4.4 První scénář.....	33
4.5 Druhý scénář.....	34
4.6 Třetí scénář.....	35
4.7 Dotazník experimentálního měření.....	36
4.8 Návod k úvodu do měření	36
5. Experimentální měření.....	37
5.1 Postup vyhodnocení reakčních dob v měření.....	38
5.2 Postup vyhodnocení dotazníku experimentálního měření	40



6.	Výsledky vyhodnocení reakčních dob v měření	42
6.1	Porovnání nultého a prvního scénáře	42
6.2	Porovnání nultého a druhého scénáře.....	43
6.3	Porovnání nultého a třetího scénáře.....	44
6.4	Porovnání všech scénářů	45
6.5	Výsledky vyhodnocení dotazníku experimentálního měření	46
7.	Diskuze výsledků	49
8.	Závěr	51
9.	Seznam použité literatury	52
10.	Seznam příloh	58



Seznam obrázků

Obrázek 1: Popis funkce HMI (zdroj: researchgate.net).....	13
Obrázek 2: GUI Escape.....	17
Obrázek 3: GUI Indra (zdroj: [33])	18
Obrázek 4: GUI TopSky (zdroj: [35]).....	19
Obrázek 5: Rozhraní pozice PWP (zdroj: [1])	21
Obrázek 6: Design experimentu	25
Obrázek 7: Grafické nastavení nultého scénáře	32
Obrázek 8: Grafické nastavení prvního scénáře	33
Obrázek 9: Grafické nastavení druhého scénáře.....	34
Obrázek 10: Grafické nastavení třetího scénáře.....	35
Obrázek 11: Příklad otázky z dotazníku	36
Obrázek 12: Příklad přepisu volacích znaků letadel v návodu	36
Obrázek 13: Ukázka záznamu eye-tracker trajektorie	37
Obrázek 14: Časová osa v Adobe Premiere Pro 2022	38



Seznam grafů

Graf 1: Nultý vs první scénář	42
Graf 2: Nultý vs druhý scénář	43
Graf 3: Nultý vs třetí scénář	44
Graf 4: Komparace scénářů navzájem	45
Graf 5: Nultý scénář	46
Graf 6: První scénář	46
Graf 7: Druhý scénář	47
Graf 8: Třetí scénář	47
Graf 9: Preference jednotlivých scénářů	48



Seznam tabulek

Tabulka 1: Vyhodnocení reakčních dob prvního subjektu.....	39
Tabulka 2: Reakční doby na základě funkce v nultém scénáři.....	40



Seznam symbolů a zkratek

ATC – Air Traffic Control

ATCO – Air Traffic Control Officer

ATM – Air Traffic Management

CWP – Controller Working Position

EEG – Elektroencefalograf

EKG – Elektrokardiograf

GM – Ground Machine

GUI – Graphical User Interface

HMI – Human Machine Interface

NASA – National Aeronautics and Space Administration



Úvod

Interakce člověka s jakýmkoliv strojem či zařízením je běžnou součástí každodenního života. Vzhledem k tomu, že se jedná o tak všední jev, je důležité, aby celý proces této interakce byl co možná nejvíce uživatelsky přívětivý a kladně vnímaný.

V případě řízení letového provozu mluvíme zejména o interakci samotného řídicího s počítačovým radarovým softwarovým systémem, díky kterému řídí letový provoz. Celková operativní agenda v řízení letového provozu je velmi náročná činnost. Právě proto se klade na její funkčnost a paralelní bezpečnost a efektivitu velký důraz. I přes jasný a značný fakt náročnosti výkonu této činnosti, je letecká doprava dlouhodobě nejbezpečnější na světě.

Určitou část agendy řídicího mohou v dnešní době převzít automatizované procesy, které jsou integrované v rámci celého rozhraní. Pokud automatika nebude brána v potaz, je celá agenda řízení pouze na výkonnosti řídicího letového provozu. Je tedy nutné zabývat se optimalizováním celého procesu interakce mezi řídicím a rozhraním.

Parametry ovlivňující výkonnost řídicího z osobní strany jsou ryze subjektivního charakteru. Naproti tomu faktory rozhraní jsou zcela doménou celkového návrhu designu a funkčnosti systému tak, aby celý proces interakce byl co možná uživatelsky nejpřívětivější a výkonnost řídicího se tak dostala na optimální a požadovanou úroveň.

Grafický design a celkové vzezření jakéhokoliv rozhraní je parametr, který na člověka určitým způsobem působí od první počáteční interakce. Je tedy důležité brát v úvahu možnosti zdokonalení současných standardů v tomto odvětví, aby byla zachována bezpečnost a efektivita v řízení letového provozu.

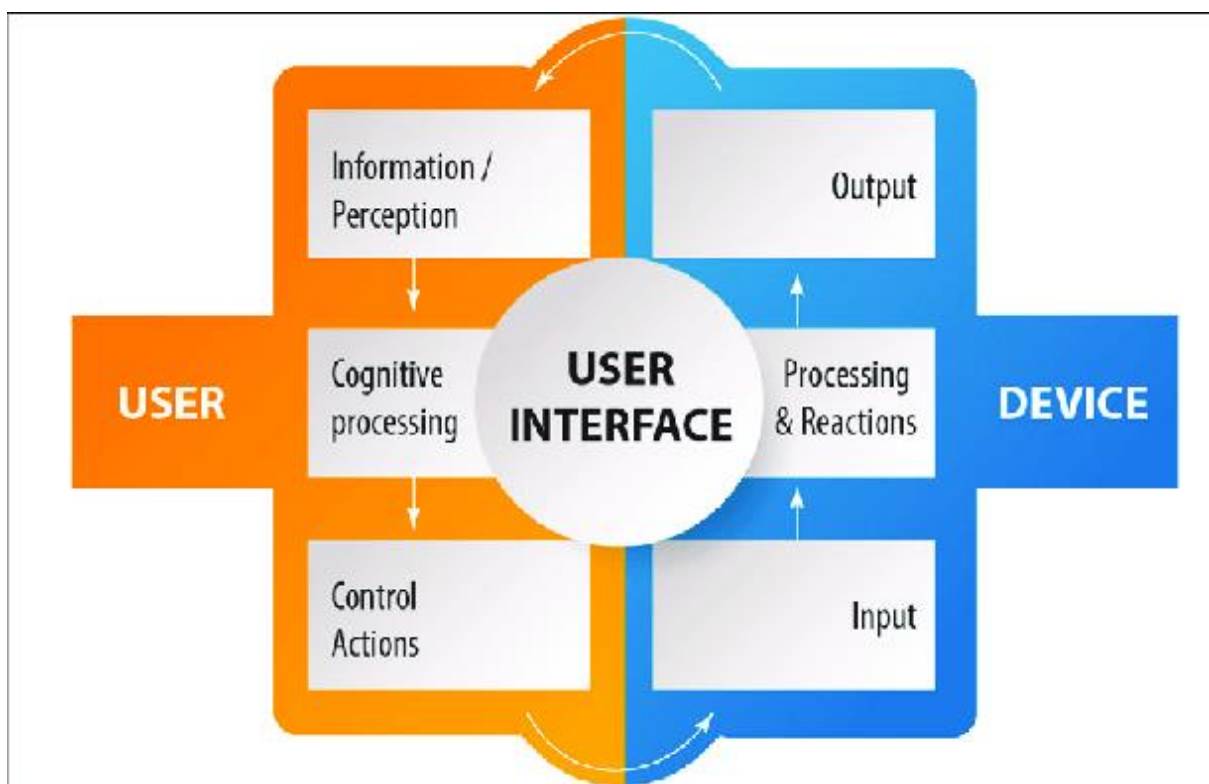
Interakce řídicího s grafickým rozhraním určitého systému je tématem této práce. V současné době existuje řada studií, kde jsou revalidovány standardy v tomto nastavení. Důležitý je přínos nových a objektivním výstupů do oblasti této problematiky, aby proces zdokonalování byl kontinuální a nepřetržitý.

1. Současný stav problematiky

S narůstající tendencí nadále zvyšovat bezpečnost a efektivitu – např. užitím automatizovaných postupů – v řízení letového provozu (angl. air traffic control) přichází i přirozená potřeba nadále přezkoumávat a revidovat současné nastavení užívané v tomto odvětví. Nedílnou součástí tohoto pracovního procesu je i interakce mezi řídícím (angl. ATC/ATCO) a počítačovým radarovým systémem, který příslušný pracovník obsluhuje přes určité rozhraní – Human Machine Interface.

1.1 Human Machine Interface

HMI představuje formu jakéhokoliv rozhraní, díky kterému může člověk interagovat s daným zařízením nebo systémem. Celý tento proces funguje i v opačném směru kdy je zapotřebí, aby člověk převzal informace sdělné strojem. [23] Obsahové parametry HMI tedy závisí na konkrétních potřebách v oblasti jeho využití. Mezi tyto parametry při použití ve službách řízení letového provozu můžeme zařadit například zobrazení informací o letadle – rychlost, výška, kurz, typ stroje, trajektorie letu; dále pak grafické znázornění prostoru, ve kterém se letadlo nachází a v neposlední řadě upozornění a výstrahy týkající se bezpečnosti v samotném řízení, které ATCO varují před kritickými situacemi.



Obrázek 1: Popis funkce HMI (zdroj: researchgate.net)



1.2 Grafické rozhraní HMI

Kterékoliv rozhraní, se kterým člověk přijde do styku, na něj nějakým způsobem působí. Do jisté míry to závisí na subjektivním vnímání člověka. V minulosti byla provedena řada výzkumů na téma, jak určité vizuální parametry, kterým jedinec věnuje svou pozornost, působí na jeho kognitivní funkce. Bylo prokázáno, že různé nastavení grafických parametrů má zásadní vliv na mentální výkonnost člověk – například jeho pozornost a povědomí o probíhající situaci. [13-19] Vezmeme-li například v úvahu nastavení GUI (Graphical User Interface) z pohledu barev, tak série experimentů měřených pomocí EEG ukázala, že rozdílné barvy mají objektivní vliv na subjektivní emoční prožívání člověka, které následně formuje jeho míru pozornosti k určitým aspektům. [13]

Obecně GUI obsahuje všechny abstraktní a digitální elementy, díky kterým probíhá interakce člověka s HMI. Klíčovým požadavkem při návrhu grafického rozhraní je jeho ergonomie vůči uživateli – celý systém by měl být pro člověka co nejpřehlednější a nejpřívětivější na obsluhu, aby se celkově maximalizovala efektivita jeho užívání ve spojení s pozitivním vnímáním rozhraní u člověka. [40]

Procesem subjektivního vnímání produktu u uživatele se zabývá tzv. uživatelská zkušenost. Jedná se o ucelený soubor všech emocí, pocitů a dojmů při práci s jakýmkoliv prostředím. Výsledek uživatelské zkušenosti definují jednak subjektivní emoční dojmy každého jedince zvlášť, ale také jeho užitnou hodnotu a funkčnost. Důležité je zdůraznit, že celkový uživatelský dojem se tvoří nejen v čase konkrétní interakce, nýbrž také na základě zpětných vzpomínek při práci s rozhraním. Právě element užité hodnoty reflektuje praktické nastavení GUI, které skýtá jeho jednoduchost, ergonomii a efektivitu v používání. [40]

1.3 Navrhování GUI

Pro maximální naplnění účelového využití daného rozhraní je třeba držet se několika základních pravidel při jeho návrhu. Je kriticky důležité dopředu vědět, pro co a jakým způsobem, bude dané rozhraní sloužit – jaké budou jeho funkcionality a obecný přínos. Nutné je také rozdělení operativních rolí mezi rozhraním a uživatelem – některé výkony zvládne lépe samo rozhraní díky automatizovaným procesům (např. výpočetní operace), jiné obsáhne s větší úspěšností sám uživatel (např. procesy plánování a tvořivého myšlení). Třetí podmínkou je celková konzistence celého systémového rozhraní. Z hlediska grafického nastavení je důležité zmínit zejména ucelenost použití palety barev a vzhledu ikon, které by měly zapadat do komplexního kontextu použití daného systému. [40]



1.4 Vliv GUI na výkonnost ATCO

Vzhledem k tématice této práce bude soustředěna pozornost zejména na grafické nastavení určitých parametrů HMI v rámci GUI.

Na základě neurologických výzkumů byly stanoveny standardizované grafické zobrazení při práci s HMI tak, jak je známe dnes. Jedná se zejména o stylizaci barev, typu použitých fontů, jeho velikosti a množství současně zobrazovaných informací.

Pro oblast ATC mají tyto vědecké výzkumy podložené experimenty zásadní vliv. Použití konkrétních barev v kombinaci se stylem fontu a informacemi v elektronickém formuláři kriticky podporují maximální mentální výkonnost, která je pro práci řídicího klíčová. [18, 19]

Objektivně lze tvrdit, že grafické nastavení HMI v řízení letového provozu je nastaveno tak, aby splňovalo maximální požadavky na bezpečnost a efektivitu, které sekunduje bezchybná práce ATCO, jež je ovlivněná jeho mentálním stavem.

Systémové rozhraní využívané v ATC je doménou několika celosvětových poskytovatelů v tomto softwarovém odvětví. Každý z výrobců využívá ke grafickému zobrazení aktuálního provozu trochu odlišný přístup, který se odráží v celkovém vzezření GUI. Mezi základní poskytovatele softwarového rozhraní pro řízení letového provozu se řadí společnost Indra a firma Thales se svým řešením TopSky.

1.4.1 Stylizace barev

Každá barva vyvolává v lidském mozku určité pocity a emoce. Celková paleta barev se vzájemně velmi liší a každá z nich je definována určitou vlnovou délkou. Na tmavší a chladnější barvy reagujeme jinak, než na barvy jasnější a teplejší. Pro pochopení užití barev v rámci řízení letového provozu má toto zásadní vliv. Standardizované užití barevné palety GUI v řízení maximálně napomáhá ATCO zachovat si situační přehled, pozornost a schopnost adekvátně reagovat na současnou situaci. Parametr barev byl již několikrát přezkoumáván pro co nejlepší nastavení v GUI, jelikož právě tento vliv je na práci řídicího jeden z klíčových. [14, 16, 17, 18, 19]

Statické prvky GUI, které reprezentují body v prostoru nebo prostor samotný bývají v defaultním nastavení poskytovatelů softwaru pro ATC zobrazeny tmavou chladnější barvou (např. tmavě modrá nebo šedá), která v lidském mozku neevokuje potřebu náhlé reakce a nepůsobí poutavým dojmem. [16-19]



Dynamické pohybující se cíle, upozornění a varování jsou zobrazeny jasnými a teplými barvami (např. oranžová, žlutá nebo červená), které v člověku evokují potřebu rychle reagovat a poutají jeho pozornost k právě zmiňovanému bodu. [16-19]

Ucelenost palety barev a její konkrétní nastavení zásadně napomáhá v efektivitě a bezpečnosti v řízení letového provozu.

1.4.2 Nastavení fontu

Nastavení písma neboli fontu má taktéž zásadní vliv na to, jakým způsobem přijímáme a procesujeme informace, které potřebujeme. V kontextu ATC mluvíme o nastavení fontu zejména v elektronickém formuláři, kde jsou zobrazovány informace o konkrétním letadle. Pro správné přijetí a zpracování informací z elektronického formuláře v mozku ATCO je důležité, aby informace byly zobrazovány čitelně. To souvisí s použitím konkrétního typu fontu a jeho velikosti. Ačkoli správné nastavení velikosti a typu fontu podléhá mnohem více subjektivním preferencím jedince než nastavení barev, ve studii z univerzity v USA bylo potvrzeno, že lidé lépe vnímají informace, které jsou jim prezentovány patkovým písmem. Velikost fontu, např. v elektronickém formuláři, podléhá potřebě každého individuálně na množství zobrazovaných informací. Čím větší bude samotný font, tím bude velké množství informací hůře čitelné a naopak. [15]

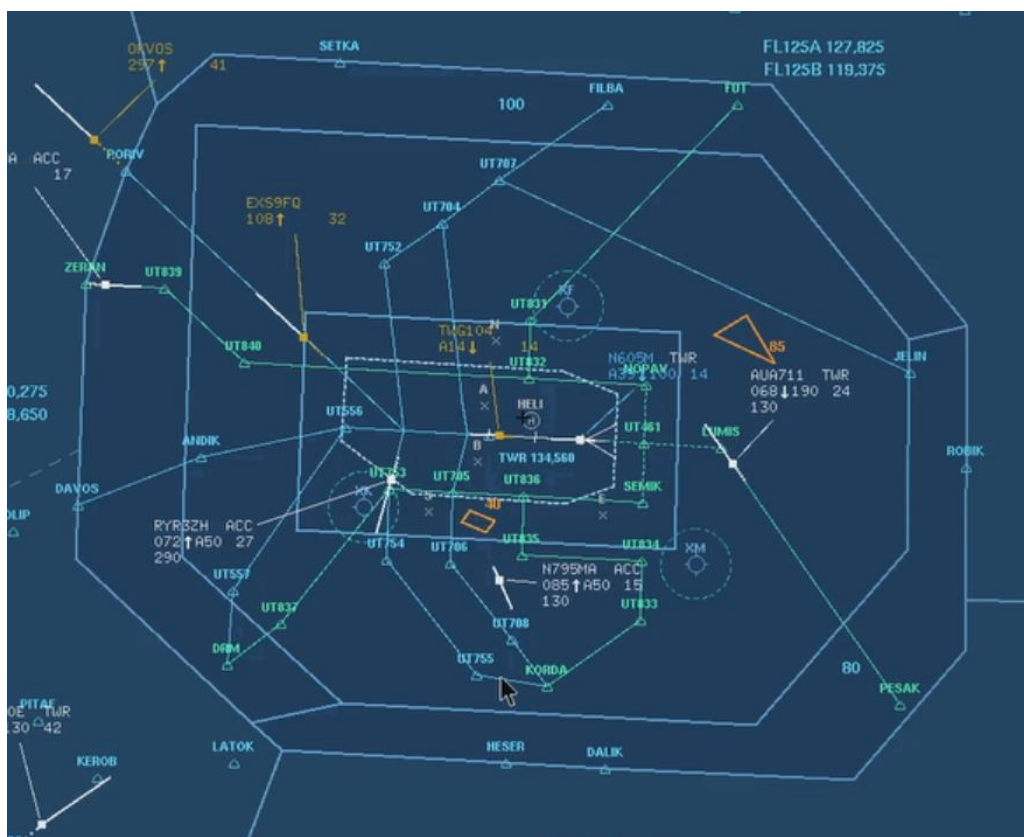
1.4.3 Množství informací v elektronickém formuláři

Počet právě zobrazovaných informací v elektronickém formuláři má vliv na celkovou interpretaci GUI směrem k uživateli. Jedná se o subjektivní preferenci, kterou lze těžko standardizovat. V kontextu ATC se v elektronickém formuláři zobrazují informace jako je volací znak, aktuální rychlost, výška, kurz, požadovaná výška apod. Některé informace jsou statické a nelze jejich viditelnost měnit na vypnuto/zapnuto. Jiné tuto volbu mají. Zobrazení, respektive nezobrazení doplňujících informací v elektronickém formuláři závisí na osobní volbě ATCO. Je tedy možné, že zobrazení všech volitelných informací může vést v hustém provozu k překrývání formulářů mezi sebou a tím i vyvolat zmatenost a snížení přehledu na straně řídicího. Nezobrazení naopak žádných doplňujících informací, jako je například požadovaná hladina letu, může vést ke snížení efektivitě v řízení a taktéž ke snížení celkového přehledu. Tento parametr tedy podléhá osobní zkušenosti každého řídicího, kde si každý jednotlivě zvláště vybírá toto nastavení dle svých preferencí, které odráží pracovní výkonnost v řízení.

1.4.4 Vzhled GUI jednotlivých poskytovatelů

Mezi hlavní celosvětové poskytovatele HMI pro přehledové radary patří španělský výrobce Indra a mezinárodní firma Thales poskytující radarové rozhraní TopSky. Obě společnosti vyvíjí software pro reálný provoz. Rozhraní Escape vyvinuté Eurocontrolem slouží pro jednak pro simulační prostředí a také pro využití v reálném provozu, např. v Maastricht UAC. Vzhledem k účelu a cíli této práce budou veškerá nastavení GUI testována právě na softwaru Escape Light.

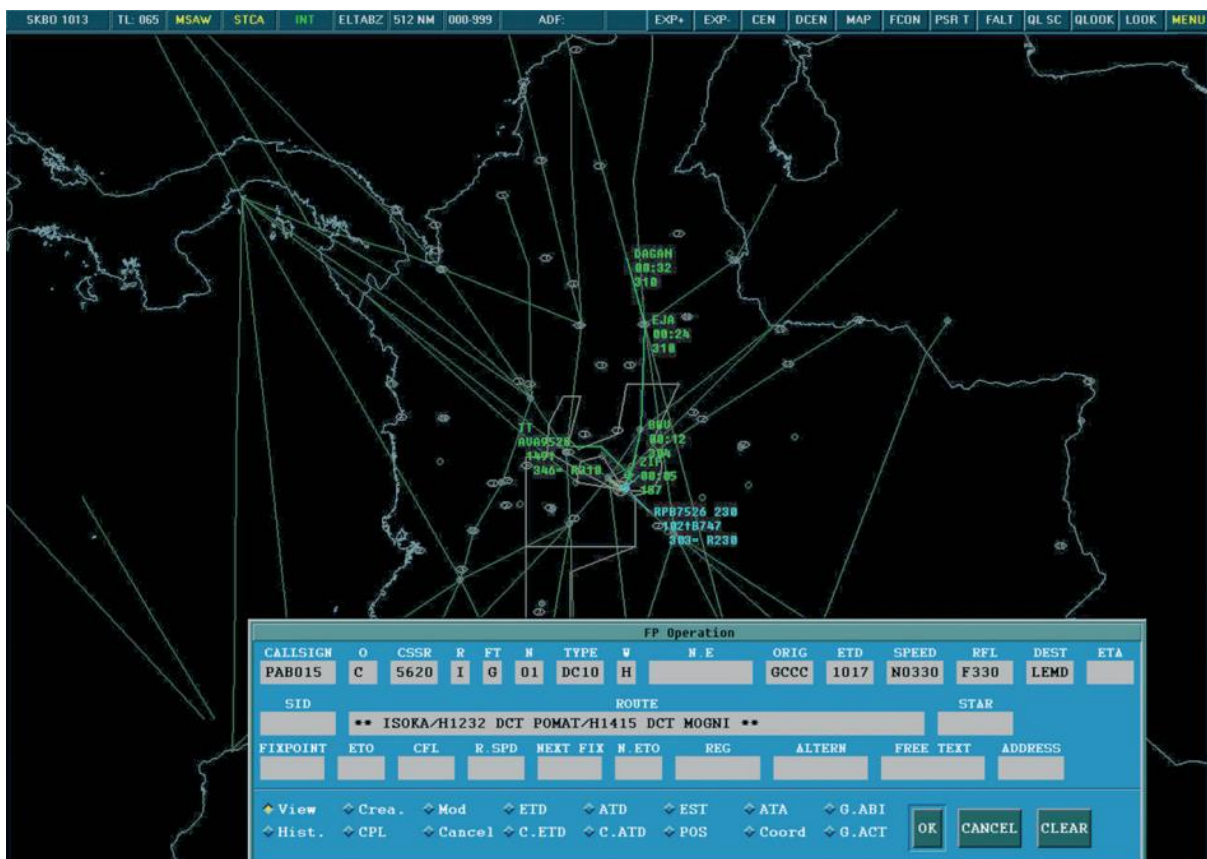
V defaultním grafickém nastavení Escape je řízený prostor reprezentován tmavě modrou barvou. Neřízený prostor, v tomto případě oblastního řízení, má taktéž tmavě modrou barvu, avšak o něco světlejší odstín. Traťové body v řízeném prostoru jsou definovány světle zelenou barvou, v neřízeném světle modrou stejně jako značení frekvencí. Zakázané/omezené prostory mají oranžovou barvu. Dynamické pohybující se cíle, kterými jsou letadla, mají v grafickém rozhraní Escape bílou barvu a jsou zobrazovány jako bod s vektorem, který reprezentuje aktuální trajektorii letu.



Obrázek 2: GUI Escape

Dalším poskytovatelem ATC softwaru je společnost Indra, která podniká v oblasti ATM již přes 90 let. Poskytovaný software nabízí řídícím širokou škálu automatizovaných prvků, které jim pomáhají při výkonu jejich povolání. Při návrhu grafického rozhraní byl kladen důraz na jednoduchost a uživatelskou přívětivost. Tyto prvky by měly ještě více zlepšit celkový pozitivní dojem z používání právě tohoto softwaru v ATC.

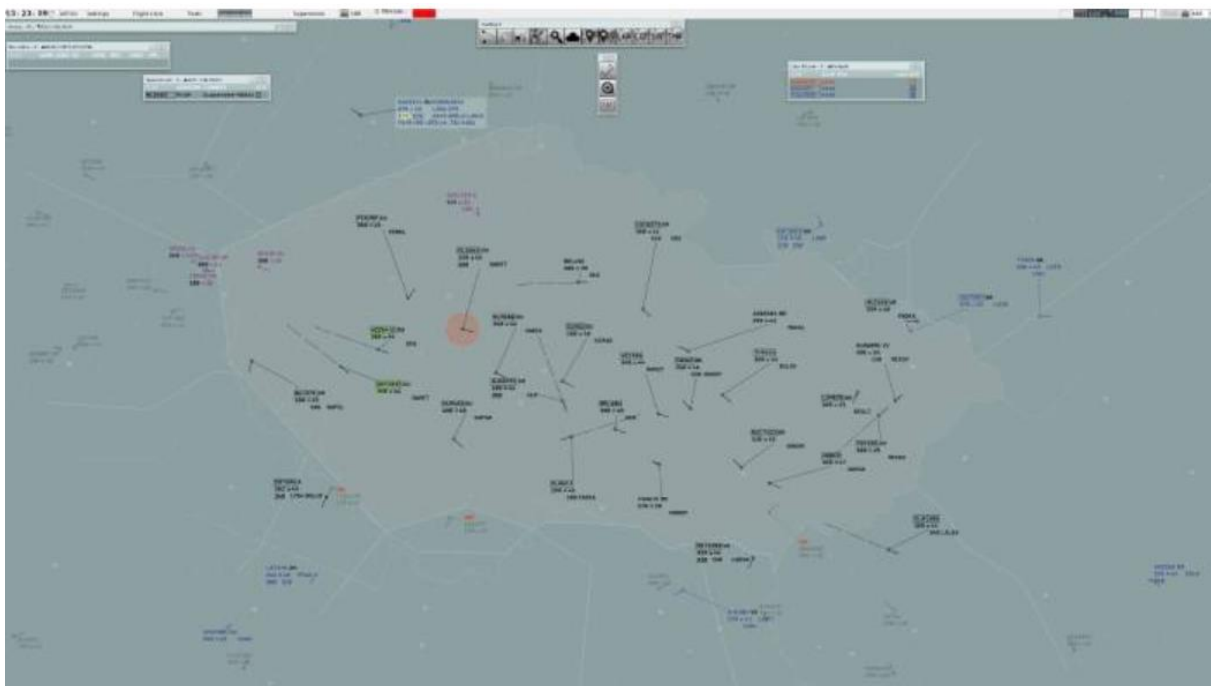
Oproti defaultnímu nastavení GUI Escape má Indra několik viditelných odlišností. Řízený i neřízený prostor je interpretovaný černou barvu působící kontrastně oproti zbylým prvkům. Celkové rozložení obslužných grafických tlačítek je taktéž jiné oproti Escape Light. Grafické nastavení letových štítků pro přijatý (assumed), známý (known) a neznámý (decourel) provoz je naproti tomu podobné základnímu nastavení Escapu. [33]



Obrázek 3: GUI Indra (zdroj: [33])

Stejně jako Indra má i software TopSky od společnosti Thales širokou škálu možností ve volbě automatizovaných procesů, které ATCO pomáhají v jeho agendě. Taktéž při jeho vývoji byl kladen důraz na jednoduchost, inovaci současných prvků a v neposlední řadě přínos zcela nových funkcionalit. Cílem bylo vytvořit stabilní, funkční a jednoduchý systém z pohledu údržby, který bude zároveň díky obsaženým pokrokovým technologiím konkurenceschopný. Software TopSky je široce zastoupen po celém světě, zejména v Africe, Evropě, Blízkém východě a východní Asii. [35]

Celkové grafické rozhraní je mnohem více animované než software u Indra a Escape. Řízený a neřízený prostor je zobrazován v odstínech šedé barvy jejíž nastavení si odhlasovali sami řídící letového provozu. Nejedná se tedy o ryze defaultní nastavení. Řízený prostor má světlejší odstín než neřízený. Je to tedy přesně naopak než u Escape. Rozvržení obslužných grafických tlačítek je taktéž odlišné od dvou předchozích poskytovatelů. Celková grafická stylizace letových štítů je podobná u všech třech softwarů vzájemně.



Obrázek 4: GUI TopSky (zdroj: [35])



1.5 Escape Light

V rámci simulací řízení letového provozu je na Fakultě dopravní, konkrétně Ústavu letecké dopravy, využíván software Escape Light, který poskytuje reálný obraz HMI prostředí v ATC. Ve verzi Light nejsou dostupné všechny funkcionality plné verze Escape. Tato omezenější verze simulátoru byla zvolena z důvodu neposkytování plné verze univerzitním stranám.

Výše zmíněný simulátor byl vyvinutý společností Eurocontrol, která zaštiťuje veškeré operační aktivity týkající se Air Traffic Managementu (ATM) v rámci celé Evropy. Vývoji tohoto softwaru předcházela potřeba výzkumu v oblasti řízení a zkoumání jeho aspektů. Pro experimentální měření a validaci získaných dat byl tedy vytvořen Escape Light. [1]

Samotný simulátor nabízí širokou škálu podpůrných nástrojů a popis jeho komplexního využití přesahuje rámec této práce. V Escapu lze namodelovat prakticky jakékoliv vzorové cvičení dle konkrétních potřeb. Od základních a jednoduchých modelů v řízení až po složité a náročné situace, ve kterých je úroveň provozu na maximální úrovni. [1]

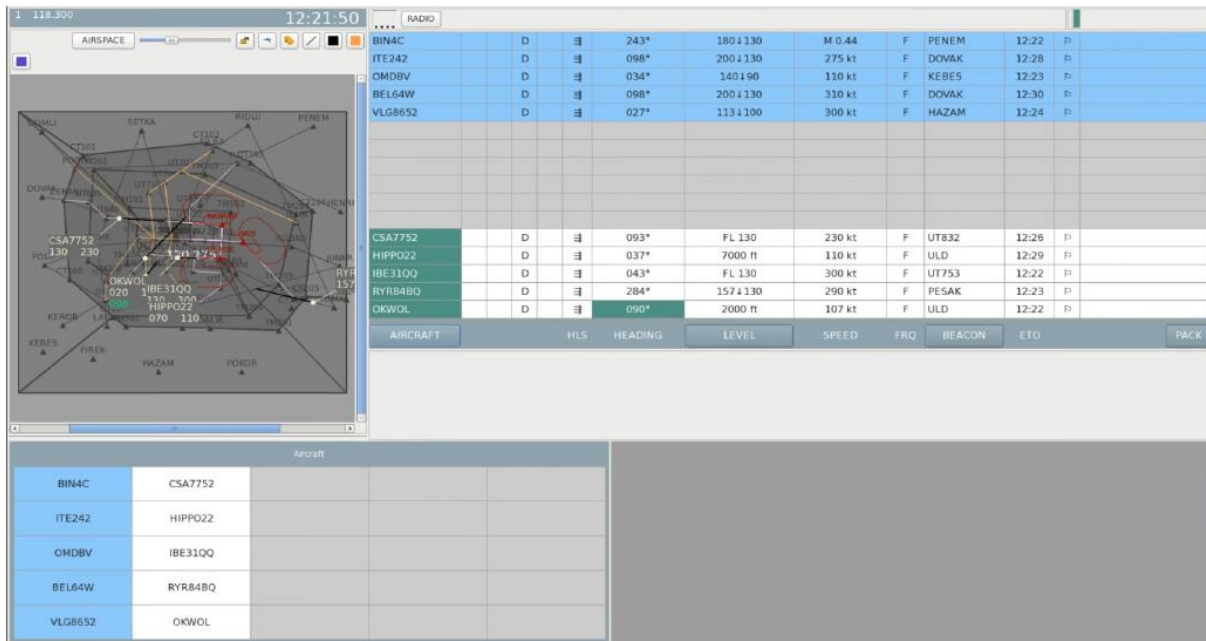
Software je uzpůsobený pro použití na operačním systému Linux a je velmi náročný na hardwarové vlastnosti výpočetní techniky. S vyspělostí počítačových základů je třeba počítat pro bezproblémové užívání celého Escapu. [1]

Celková platforma obsahuje celkem tři pracovní pozice, které jsou navzájem propojené. První pozicí je tzv. Ground Machine (GM), která je výpočetně nejnáročnější. Slouží jako datové a procesní zázemí pro simulace a je taktéž ústřední stanicí pro tvorbu cvičení a jejich následnou obsluhu. [1]

Druhou pozicí je tzv. Controller Working Position (CWP). Jedná se o pozici řídicího letového provozu v konkrétním cvičení. ATCO zde provádí úkony, které jsou identické s výkonem procesů v reálné situaci – komunikace s piloty a veškerá operativní agenda spojená s řízením vzdušného prostoru. [1]

Třetí pozicí je tzv. Pilot Working Position (PWP). Tuto pozici obsluhuje člověk zvaný „pseudopilot“ a provádí úkony v korespondenci s ATCO a zadává je do svého rozhraní. Těmito zjednodušenými kroky pilot simuluje situaci řízení konkrétního letadla. [1]

Celé rozhraní Escapu nabízí taktéž vzdálený přístup. Díky tomu lze například modelovat a vytvářet cvičení z jiné pozice a člověk nemusí být fyzicky přítomen na GM. Počet CWP a PWP není omezen na model 1v1. Je možné, aby bylo naráz v provozu více stanic obou typů.



Obrázek 5: Rozhraní pozice PWP (zdroj: [1])

Nastavení grafických parametrů v rámci rozhraní všech poskytovatelů tohoto typu softwaru může mít zásadní vliv na celkový komfort práce řídicího, čas a rychlost zápisu informací, přesnost a pozornost. V neposlední řadě také ovlivňuje celkové povědomí o právě probíhající situaci. [2]

1.6 Situační povědomí

Řídicí letového provozu interaguje s HMI v rámci své práce. Aby byl proces interakce co nejoptimálnější, musí být celé rozhraní vhodně navrženo. Hlavní pracovní náplní řídicího je bezpečně a efektivně korigovat vzdušný provoz. K tomu, aby tuto agendu mohl správně vykonávat, musí být ATCO dobře orientovaný a mít bezchybný přehled o současné a nadcházející situaci.

Jak již bylo zmíněno, mezi klíčové požadavky při návrhu jakéhokoliv HMI, respektive GUI, řadíme funkčnost a užitnou hodnotu. Tyto parametry jsou reprezentovány jednoduchostí rozhraní a uživatelskou přívětivostí v oblasti obsluhy. Grafické nastavení HMI v oblasti ATC prokazatelně zasahuje do situační orientace řídicího. Například bylo zjištěno, že použití patkového a bezpatkového písma má vliv na dobu vstřebání a zaznamenání informace. [15]



Další studie zjistila, že parametry jako je vzhled symbolů a ikon také výrazně ovlivňuje povědomí řídicího. [16, 17]

Vzhledem k tomu, že mezi základní pravidla při vytváření HMI patří grafická konzistence GUI, souvisí tedy povědomí o situaci a přehled s tímto nastavením.

Pojem situational awareness lze do češtiny přeložit jako situační povědomí. Je možné si pod tímto termínem představit konkrétní okamžik, kdy člověk určitým způsobem vnímá, co se kolem něj děje, následně tyto vjemy zpracuje a porozumí jim, načež se rozhodne pro určitou reakci v dané situaci a díky této zkušenosti bude moci správně predikovat nadcházející události a jednat. Právě situační povědomí má kritický vliv v oblasti výzkumu úrovně bezpečnosti a efektivity práce v ATC. Řídící, který má adekvátní povědomí o probíhající situaci, musí mít celkový přehled o všech letadlech ve svém prostoru odpovědnosti a na základě dynamiky změn by měl být schopen předpovídat budoucí sled událostí. Díky tomu by ho zmíněné situační povědomí mělo vést ke správným rozhodnutím v oblasti ATC. [22]

Dle studií zabývajících se fenoménem situačního povědomí, je celý tento pojem sestaven ze čtyřech typů informací [22]:

- Sběr informací z okolního prostředí
- Asociace těchto informací s vnitřním pochopením a porozuměním. Na základě toho vznikne určitý mentální obraz právě probíhající situace
- Použití tohoto obrazu reality ve svém rozhodování
- Na základě této mentální zkušenosti predikovat budoucí situace a uzpůsobit tomu své jednání

1.7 Pozornost

Pozornost úzce souvisí s termínem situačního povědomí. Jedná se o schopnost filtrovat nerelevantní vstupy z okolí s ohledem na právě probíhající situaci. Schopnost eliminovat negativní a nežádoucí vlivy z okolí člověka závisí na několika faktorech: našich smyslech, respektive na míře jejich schopnosti filtrovat nežádoucí stimuly; na subjektivním vnímání člověka podle toho, co zrovna považuje za rušivý element. [21, 31]

Jakýkoliv stimul k nám přichází na základě zachycení našimi smysly. V návaznosti na vědecké studie lze tvrdit, že nejvíce rušivých podnětů k člověku přichází prostřednictvím zraku.



V konotaci s prací ATCO bylo definováno celkem šest úrovní tzv. Visual Attention, které řidiči při své práci využívá [21, 31]:

1. General Orientation and Scanning – celkový situační přehled v rámci radaru ATC
2. Supervisory Control – zachycení trajektorie pohybu očí, aby bylo zjištěno, kam ATCO soustředí svou pozornost
3. Noticing – zachycení a reakce na nečekané situace
4. Searching – hledání cíle na základě predikce a předchozích zkušeností
5. Reading information – získání informací (např. čtením elektronického formuláře)
6. Confirming – potvrzení vydaných rozhodnutí (např. zapsání do elektronického formuláře, nebo papírového stripu)

Element pozornosti úzce souvisí se schopností reagovat, která je následně definována reakční dobou na určitý podnět. Koncepce Attention Guidance při experimentálním měření eye-trackerem ukázala, že pokud je ATCO vedený těmito úrovněmi ve svém pracovním procesu, reakční doba se zkracuje. Navíc je možné celý koncept brát jako další podpůrný nástroj v oblasti bezpečnosti ATC, který přispívá ke zvýšení soustředěnosti u řidičů. [31]

1.8 Výzkumy a studie

Na zkoumání a měření životních funkcí u člověka se používají různé druhy testů a měřících nástrojů. Životní funkce, jako např. činnost srdce a mozku, lze měřit exaktně a výstup ze samotného měření je objektivní. EKG dokáže změřit veškerou aktivitu srdce. EEG měří elektrickou aktivitu mozku. Výstup z těchto měření slouží pro referenční porovnání s běžnými hodnotami. Výzkumy tohoto typu nijak nesouvisí s grafickým nastavením samotného rozhraní. Jejich zmínění akorát představuje všechny možnosti testování, které jsou proveditelné v rámci řízení letového provozu.

Na testování pozornosti, situačního povědomí, reakční doby a např. orientace v prostoru se využívají subjektivní dotazovací testy. Každý z těchto parametrů podléhá subjektivnímu nastavení jedince, proto je nelze nijak unifikovat. Mezi nástroje v oblasti tohoto výzkumu patří např.:

- Mouse-tracker – zachycuje trajektorii pohybu kurzoru myši
- Eye-tracker – zachycuje trajektorii pohybu očí po displeji monitoru
- NASA task load – hodnotí vnímanou pracovní zátěž vzhledem efektivitě plnění úkolu [38]



- Dotazníky týkající se současného emočního stavu
- Zaklikávací computer-based testy – např. FEAST testy provozované Eurocontrolem k identifikaci vhodných kandidátů na pozici ATCO [39]

V rámci směru této bakalářské práce se budeme věnovat testování pomocí eye-trackeru a následnému subjektivnímu dotazování skrze připravený formulář. Všechny výsledky budou následně vyhodnoceny.

Situační povědomí a pozornost se staly během uplynulých let nedílnou součástí řady výzkumů a experimentálních měření. Vzhledem k faktu, že kriticky přispívají k bezpečnosti v letectví, která je v rámci tohoto odvětví absolutní prioritou, je nutné přicházet se stále novými výzkumy, které poskytnou další cenné výsledky. Na základě tohoto požadavku bylo nutné propojit řadu mezioborových disciplín do jednoho funkčního celku. Řízení letového provozu je v kompetenci člověka. Jak pozornost, tak situační povědomí, spadají do souboru kognitivních funkcí, které řídí lidský mozek.

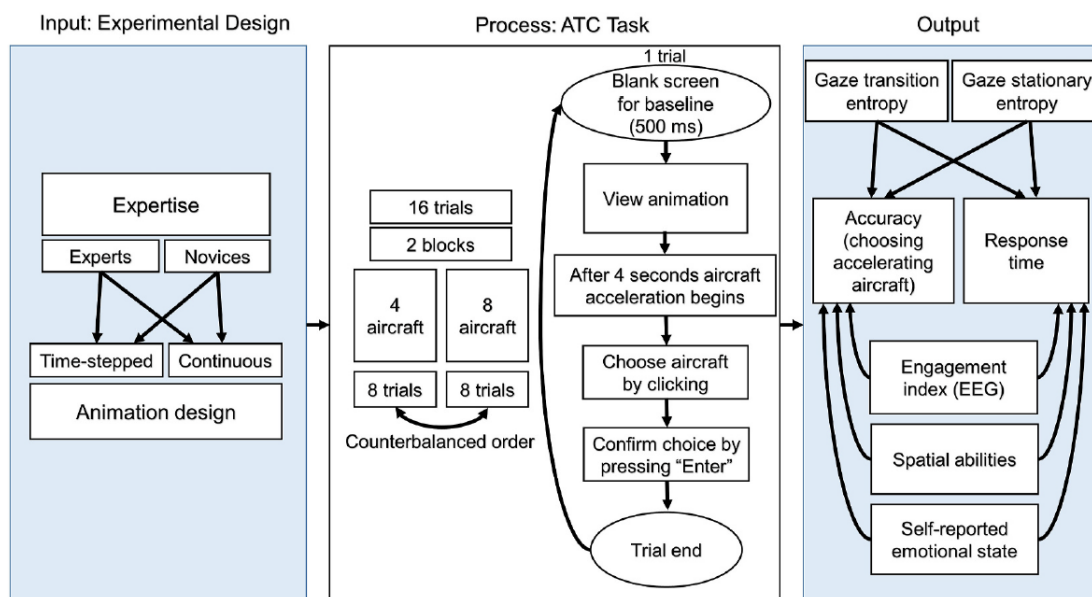
V souvislosti s ATC je oblastí zájmu zejména reakční doba na určité podněty, který by měl řídící zachytit. Například od komunikace s posádkou letadla po zadání správných hodnot do letového štítku. Podpůrná data pro tuto reakční dobu reprezentuje hlavně zachycení trajektorie pohybu očí nebo pohybu myši při interakci s HMI. Čím delší je naměřená trajektorie z původního bodu A do koncového bodu B, tím je logicky delší i reakční doba, která reprezentuje situační povědomí a pozornost. Pro zachycení pohybu očí se využívá tzv. eye-trackeru. Pro záznam pohybu ruky (resp. kurzoru myši, kterou obsluhuje lidská ruka) se užívá tzv. mouse-trackeru. Obě formy těchto měřičů jsou k dispozici v různých variantách podle jejich funkcionalit a náročnosti jejich použití.

V červnu roku 2021 proběhla na německé univerzitě experimentální studie týkající se zatížení při vykonávání různých typů úloh v oblasti ATC s variabilní náročností. K měření byly použity zápěstní senzory, které zaznamenávaly aktivitu srdce. 50 % získaných dat potvrdilo vysoký nárůst zátěže při výkonu nejnáročnějšího cvičení. Studie potvrdila objektivním měřením předpokládaný závěr. Dodatečná data byla poskytnuta ze subjektivního dotazování formou testů po vykonání celého měření. [3]

Celkem sedm univerzit z celého světa se zúčastnilo studie provedené v únoru roku 2021, která se zabývala schopností ATCO reagovat na určité podněty v rámci simulovaných cvičení na dvou typech displejů s různou obnovovací frekvencí ve zobrazovaných animacích. Důležitým parametrem pro výstup z měření byla tedy i reakční doba. Experimentu se zúčastnili jak

profesionálové v oboru, tak i amatéři. K měření byl použit eye-tracker a EEG. Po skončení simulací každá ze skupin vyplnila subjektivní dotazník týkající se jejich pocitů po konci cvičení. Skupina profesionálů vykonala všechna cvičení s větší přesností. Nicméně amatérský vzorek byl rychlejší v provedení celkové úlohy od začátku až do konce. Ze subjektivního dotazování vyplynulo, že si skupina profesionálů cvičení více užila, protože pro ně nebyly cvičení tolik náročné jako pro amatérskou část. [4]

Celý experiment byl rozčleněn do třech navazujících bloků. Nejprve se obě skupiny populačního vzorku seznámily s oběma typy displejů. Dále začaly vykonávat zmíněnou sérii úloh v řízení letového provozu. Výstupem byly hodnoty reakčního času a přesnosti v identifikaci správného letadla. Výstup z těchto dvou veličin sekundárně podporovala data ze subjektivního dotazování a EEG. [4]



Obrázek 6: Design experimentu



2. Limitace současných výzkumných aktivit

Již proběhlé nebo v současnosti probíhající studie se zaměřují zejména na výzkum jednotlivých parametrů GUI zvláště. Tj. jedná se např. o detailní rešerše v oblasti užití barevných palet na displejích používaných v ATC. Výstupem těchto studií je relevantní odůvodnění konkrétního nastavení na základě experimentálního měření. [16-19] Výzkum jednotlivých parametrů je důležitý zejména v tom ohledu, že výstupy z těchto experimentů nabízejí co možná nejhlubší a nejdetailejší poznání v oblasti dané problematiky. S narůstající tendencí nadále zvyšovat bezpečnost a efektivitu v oblasti řízení letového provozu je nepřestávající výzkumná činnost v této oblasti nutným a přirozeným procesem. Rešeršní práce této problematiky týkající se nastavení jednotlivých parametrů v rámci GUI vytváří standardy, které jsou následně aplikovány do praxe.

Tato práce cílí spíše na revizi současných standardů tak, abychom byli schopni objektivně zhodnotit vliv grafických parametrů na reakční čas a na subjektivní vnímání GUI. Koncepce této práce je vystavěna na základě experimentování s vícero nastaveními. Nezkoumá detailně jeden jediný grafický parametr. Propojuje naproti tomu testování několika grafických parametrů naráz, avšak v jednotlivých scénářích, které ve výsledku zkoumají stejnou veličinu – reakční čas na podněty.



3. Cíl práce

Požadovaným vyústěním práce je efektivní zhodnocení schopnosti reakce řídicího letového provozu na podněty v rámci změněných grafických parametrů GUI. Pro valuaci naměřených reakčních dob při změně GUI bude také provedeno měření reakční doby při defaultním grafickém nastavení. Výstup tedy reprezentuje, do jaké míry a jak moc provedené změny v GUI zasahují do reakční doby řídicího. Druhotným výstupem je také zhodnocení, který ze změněných grafických scénářů je pro reakční dobu nejméně invazivní z hlediska její délky. Posledním z výstupů této práce jsou také výsledky ze subjektivního dotazování v rámci připraveného formuláře.

Nepřímým výsledkem této práce je také přínos nových výsledků a výstupů do oblasti této problematiky. Získané výsledky by mohly nadále podporovat výzkum a inovaci v této oblasti za účelem zvýšení efektivity a bezpečnosti v řízení letového provozu.

Jsou sestaveny celkem čtyři grafické scénáře pro experimentální měření. První scénář poskytuje referenční defaultní grafické nastavení HMI v základní formě. Zbylé tři scénáře obsahují změněné grafické nastavení, přičemž každý scénář obsahuje vždy pouze jeden změněný grafický parametr. Měření bude celkově provedeno na 20 lidech z populačního vzorku. Důležité je zmínit, že část lidí z populačního vzorku nemá významnou předchozí zkušenost v oblasti ATC a někteří mají v oblasti řízení určitou praxi nebo povědomí díky absolvování předmětu týkající se základních postupů v oblasti řízení letového provozu. Znají tak frazeologii, prostředí Escape a celkovou funkčnost v ATC. Variabilita populačního vzorku napomáhá ke zvýšení objektivity výsledků v daném měření a vyhnutí se zkreslení výstupů z jedné ze zmíněných stran.



4. Metodika experimentů

Celé experimentální měření bylo provedeno na půdě Českého vysokého učení technického v Praze, Fakultě dopravní, konkrétně na Ústavu letecké dopravy na simulátoru řízení letového provozu. Měření obsahovalo celkem čtyři grafické scénáře a zúčastnilo se ho dohromady 20 lidí.

4.1 Konceptce cvičení

Pro všechny čtyři grafické scénáře bylo vybráno jednotné cvičení, na kterém se nastavení testuje. Cvičení bylo vybráno tak, aby obsahovalo průměrný provoz. Cílem všech měření bylo zjistit hodnotu reakčních dob na podněty, které přicházely z komunikace ATC a pseudopilota. Zmíněnými podněty je myšlen začátek komunikace k určitému letadlu mezi řidičím a pilotem, tj. za jak dlouho řidičí najde právě diskutované letadlo na radaru. Nalezení letadla bylo definováno jako přímý pohled řidičího na elektronický formulář k danému letadlu. Zmíněná reakční doba byla reprezentována trajektorií pohybu očí řidičího z bodu A do bodu B a jeho následné zaostření na cíl, kterého bylo docíleno po zrudnutí konkrétního bodu v trajektorii – sytě červený bod znamená cíl, kam řidičí právě soustředí svou pozornost. Celá trajektorie pohybu očí byla zaznamenávána eye-trackerem od společnosti Tobii. Důležité je zmínit to, že každý jedinec z populačního vzorku musel před začátkem měření provést kalibraci zařízení, aby eye-tracker adekvátně reagoval na oči každého subjektu zvlášť.

Všechna cvičení byla předem připravena jako samostatný videozáznam. Nejedná se tedy o reálné řízení letového provozu, ale pouze o sledování záznamu z ATC za účelem zjistit onu reakční dobu. Každý scénář tedy obsahuje určité grafické nastavení, video prezentaci provozu a záznam komunikace řidičího a pseudopilota, který přesně koresponduje s děním na videu. Při vytváření videozáznamů byla nahrána audio a video stopa zvlášť. Bylo tedy potřeba je následně spojit ve videoeditoru, aby se vytvořil finální záznam, který bude přednášen populačnímu vzorku.

Pro bližší představu komunikace mezi ATCO a pseudopilotem byla vytvořena následující podkapitola obsahující transkripci komunikace z nultého scénáře.



4.2 Transkripce komunikace nultého scénáře

ATCO: „N605M, turn left, heading 300, cleared ILS approach, runway 27, report established.“

Pseudopilot: „Left 300, cleared ILS approach, runway 27, reporting established, N605M.“

Pseudopilot: „Praha radar, RYR3ZH, after departure, passing 3500, climbing 5000.“

ATCO: „RYR3ZH, Praha radar, identified, climb FL120.“

Pseudopilot: „Climbing 120, RYR3ZH.“

ATCO: „AUA711, descend 4000 feet, QNH 1007, cleared ILS approach, runway 27.“

Pseudopilot: „Descending 4000, QNH 1007, cleared ILS approach, runway 27, AUA711.“

ATCO: „EXS9FQ, climb FL120.“

Pseudopilot: „Climbing 120, EXS9FQ.“

ATCO: „N795MA, climb FL120.“

Pseudopilot: „Climbing 120, N795MA.“

ATCO: „EXS9FQ, contact Praha radar, 120,275.“

Pseudopilot: „120,275, EXS9FQ.“

Pseudopilot: „Praha radar, DEJWA, FL70.“

ATCO: „DEJWA, Praha radar, identified, information MIKE.“

Pseudopilot: „Info MIKE, DEJWA.“

Pseudopilot: „N605M, fully established, runway 27.“

ATCO: „N605M, contact Ruzyně tower, 134,560.“

Pseudopilot: „134,560, N605M.“

Pseudopilot: „Praha radar, AHO840E, passing 240, descending 130, info MIKE.“

ATCO: AHO840E, Praha radar, identified, descend FL100, proceed direct UT836.“



Pseudopilot: „Descending 100, direct UT836, AHO840E.“

ATCO: „RZR3ZH, proceed direct CORDA.“

Pseudopilot: „Direct CORDA, RZR3ZH.“

ATCO: „DEJWA, proceed direct UT840.“

Pseudopilot: „Direct UT840, DEJWA.“

ATCO: „N795MA, contact Praha radar, 127,125.“

Pseudopilot: „127,125, N795MA.“

ATCO: „RZR3ZH, contact Praha radar, 127,125.“

Pseudopilot: „127,125, RZR3ZH.“

Pseudopilot: „Praha radar, DEBSE, FL100, info MIKE.“

ATCO: „DEBSE, Praha radar, identified.“

Pseudopilot: „AUA711, fully established, runway 27.“

ATCO: „AUA711, contact Ruzyně tower 134,560.“

Pseudopilot: „Tower, 134,560, AUA711.“

ATCO: „AHO840, proceed direct to SEMIK.“

Pseudopilot: „Direct SEMIK, AHO840E.“

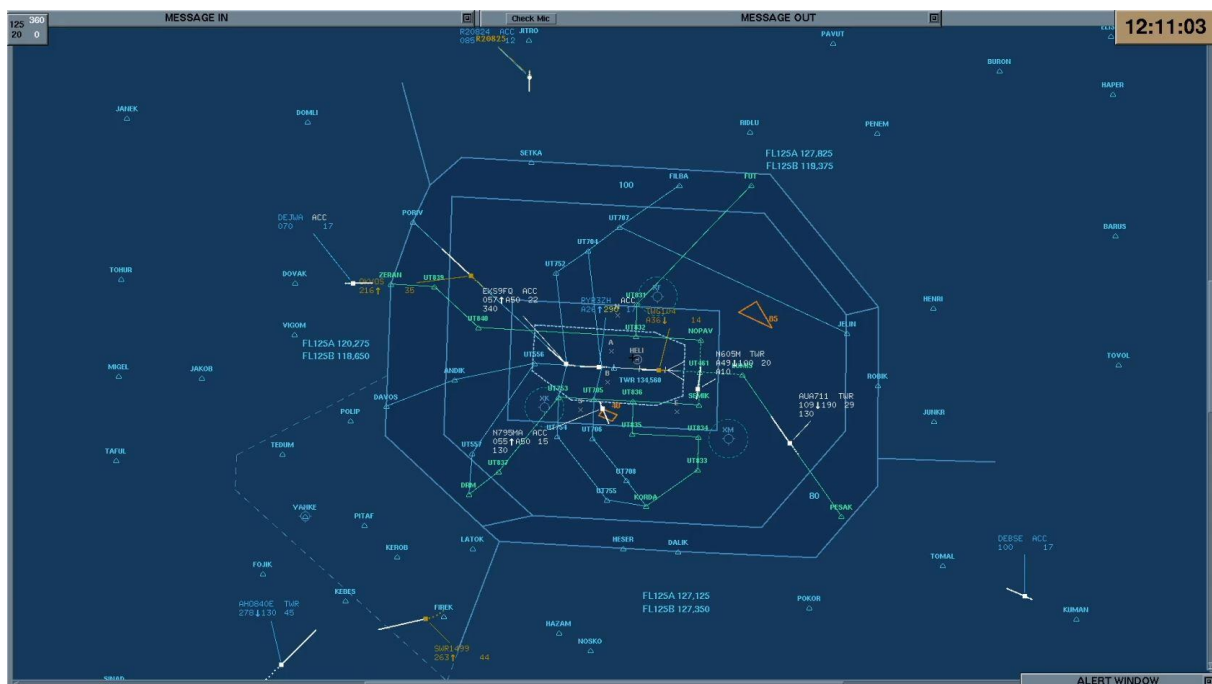


Pro dodatečný sběr dat byl také vytvořen dotazník experimentálního měření o celkem 9 otázkách. Dotazník měl za úkol zjistit subjektivní vnímání každého jedince z populačního vzorku týkající se samotného měření a grafických scénářů. Výstupem bylo tedy zhodnocení celkové kvality experimentu a zjištění osobních preferencí ohledně jednotlivých nastavení. Celý dotazník se nachází v příloze této práce a bude podrobněji představen v samostatné podkapitole této práce. [Příloha 1]

Pro efektivní zaučení jedinců z populačního vzorku byl sepsán návod jako úvod do měření. Jednalo se o jednu stranu formátu A4, která měla konkrétního člověka provést úvodem do měření, co vlastně po každém z nich bude vyžadováno, na co si dát pozor a co konkrétně dělat. Pro snížení zmatenosti části vzorku, která nemá předchozí zkušenosti v oblasti ATC, byly také do návodu připsány volací znaky jednotlivých letadel s jejich následným rozepsáním. Celý návod se nachází v příloze této práce. [Příloha 2]

4.3 Nultý scénář

Tento scénář je také nazýván defaultním grafickým nastavení. Jedná se o základně graficky nastavené parametry prostředí simulátoru Escape tak, jak je to běžné. V rámci simulátoru ATC se toto grafické nastavení používá vždy zcela běžně pro potřeby výuky a odráží i reálně nastavené GUI v přímém řízení letového provozu. Vnější neřízený prostor má v této konfiguraci světle modrou barvu. Vnitřní řízený prostor má tmavší modrou barvu. Zakázané nebo omezené prostory jsou ohraničeny oranžově. V defaultním scénáři je užíván bezpečný typ písma o velikosti 12. Konkrétně se jedná o FontBleriot12.

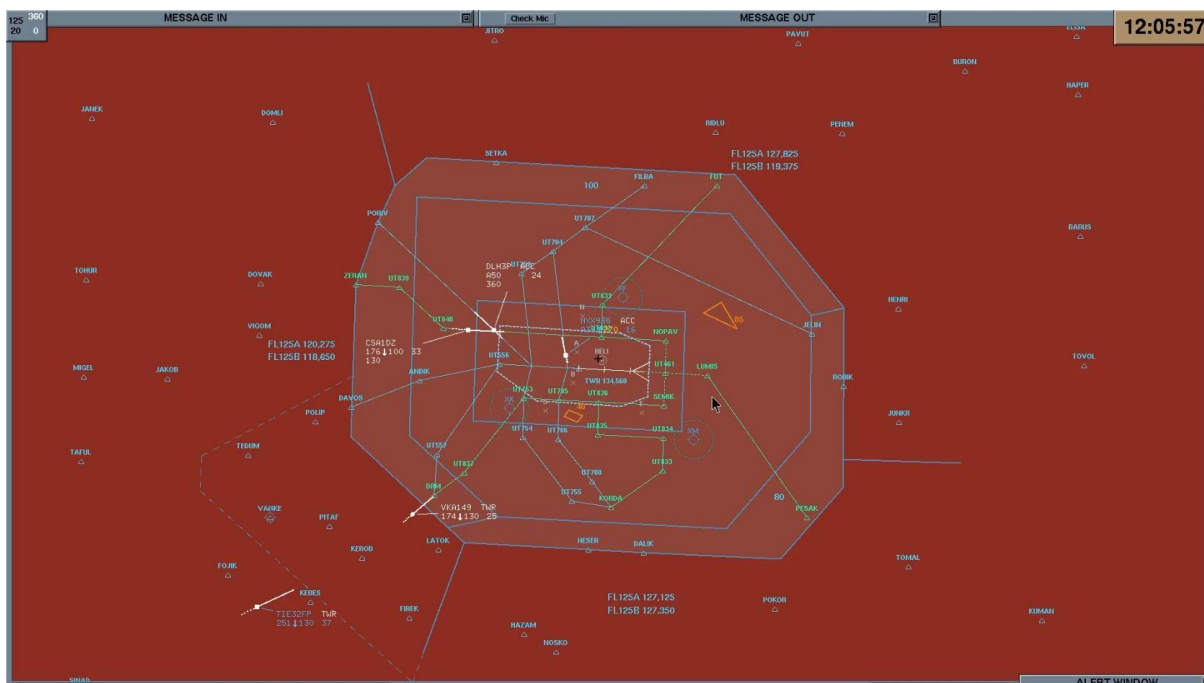


Obrázek 7: Grafické nastavení nultého scénáře

4.4 První scénář

Toto nastavení obsahuje grafickou změnu barvy vnitřního (řízeného), vnějšího (neřízeného) prostoru a tzv. selected labelu (myšleno pozadí elektronického formuláře) – zobrazí všechny navolené parametry týkající se daného letadla, pokud se na něm nachází kurzor myši. Barvy pro změnu byly vybrány dle palety barev RGB tak, aby změněná barva byla vyloženě kontrastní k barvě původní. K odstínům modré barvy byly tedy vybrány odstíny hnědé. Konkrétní nastavení barev podle kódů RGB tedy je:

- Vnitřní prostor – 145 (R), 70 (G), 55 (B)
- Vnější prostor – 145 (R), 50 (G), 30 (B)
- Selected label – 130 (R), 60 (G), 35 (B)

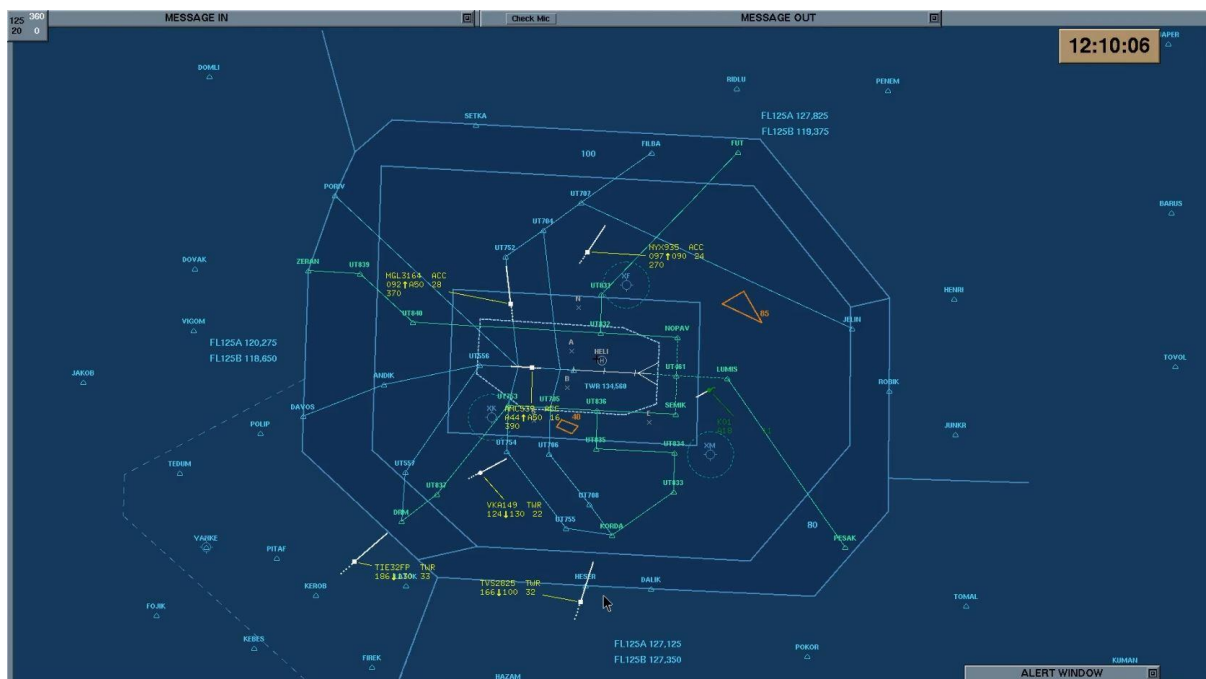


Obrázek 8: Grafické nastavení prvního scénáře

4.5 Druhý scénář

Druhé nastavení obsahuje změnu celkové barvy fontu ve všech druzích elektronického formuláře. Barvy byly opět vybrány jako zcela kontrastní k původnímu grafickému nastavení. Rozlišujeme celkově tři typy elektronických formulářů dle typu provozu – přijmutý (assumed) provoz, známý (known) a provoz typu decorel. Font v elektronickém formuláři assumed má v defaultním nastavení odstín fialové barvy, ve změněném prostředí byla tedy nahrazena odstínem žlutým. Písmo v elektronickém formuláři známého provozu má naproti tomu v základním scénáři žlutý odstín, který byl proto zde nahrazen odstínem fialovým. Provoz decorel má v základním nastavení font o fialovo-červeno-hnědém odstínu. Pro jeho změnu v tomto scénáři byl tedy vybrán odstín zelené barvy. Konkrétní kódy jednotlivých nastavení barvy fontu v labelu tedy jsou:

- Assumed label font – 225 (R), 225 (G), 0 (B)
- Known label font – 200 (R), 80 (G), 255 (B)
- Decorel label font – 0 (R), 130 (G), 0 (B)

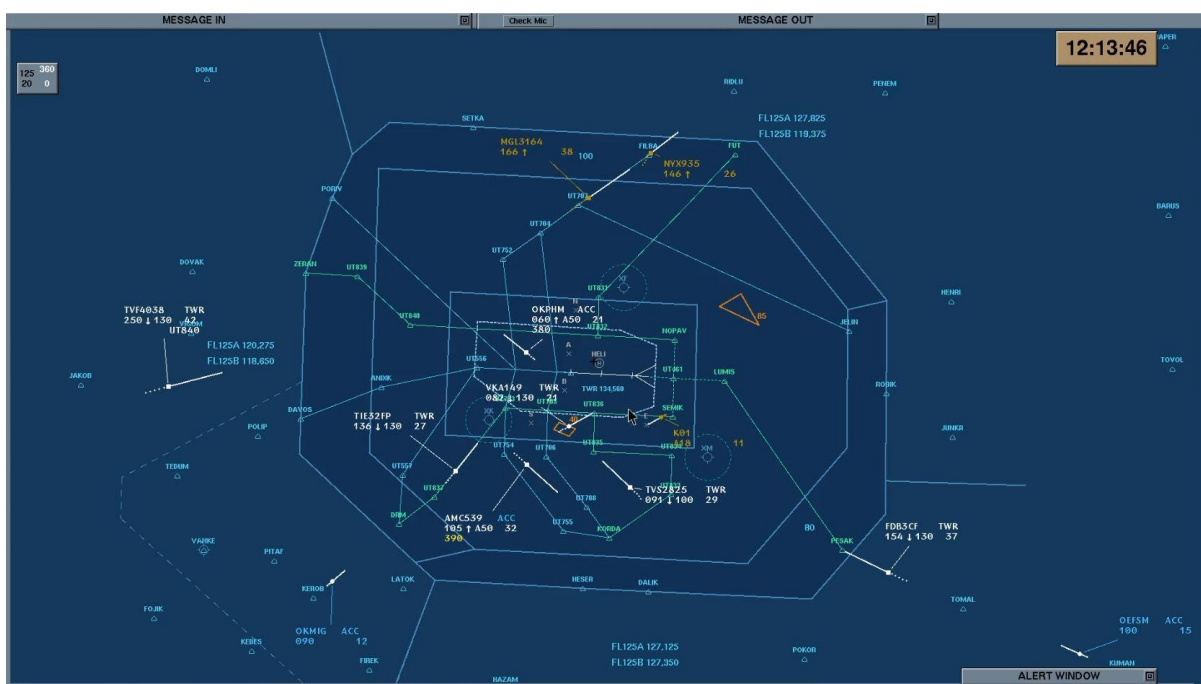


Obrázek 9: Grafické nastavení druhého scénáře

4.6 Třetí scénář

Poslední nastavení obsahuje změnu typu písma (fontu) a jeho velikosti v elektronickém formuláři. Defaultní font byl změněn na typ FontTrackLabel. Zvětšení písma si vyžádalo i drobnou korekci v celkové velikosti elektronického formuláře v režimu unselected (kurzor myši není na elektronickém formuláři a nezobrazuje všechny informace) a v režimu selected (kurzor myši se nachází na elektronickém formuláři a ten zobrazuje všechny předvolené informace). Konkrétní rozměry labelu pro oba rozměry jsou:

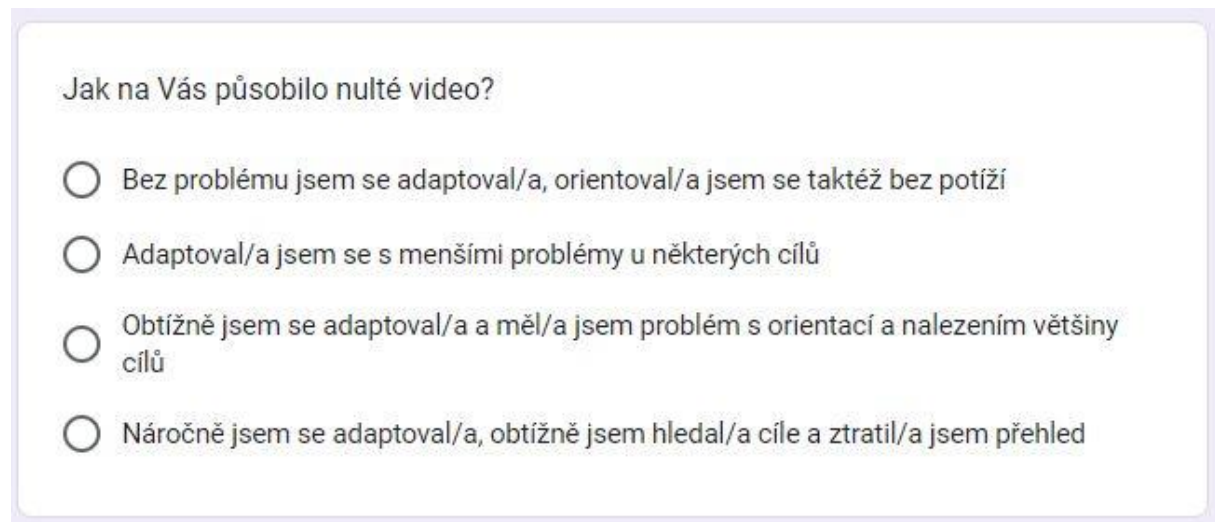
- Unselected (šířka (W), výška (H)) – 12, 16
- Selected (šířka (W), výška (H)) – 11, 18



Obrázek 10: Grafické nastavení třetího scénáře

4.7 Dotazník experimentálního měření

Dotazník obsahoval otázky na celkovou orientaci a přehled v jednotlivých scénářích. Dále byl také zacílen na subjektivní dojmy a pocity každého člověka po absolvování měření – cílem bylo zjistit, jak jednotlivé grafické scénáře daný subjekt vnímal. V poslední otázce měl daný subjekt vybrat osobní preferenci mezi jednotlivými scénáři. Celý dotazník byl vytvořen v prostředí Google Forms a nachází se v příloze této práce. [Příloha 1]



Jak na Vás působilo nulté video?

- Bez problému jsem se adaptoval/a, orientoval/a jsem se taktéž bez potíží
- Adaptoval/a jsem se s menšími problémy u některých cílů
- Obtížně jsem se adaptoval/a a měl/a jsem problém s orientací a nalezením většiny cílů
- Náročně jsem se adaptoval/a, obtížně jsem hledal/a cíle a ztratil/a jsem přehled

Obrázek 11: Příklad otázky z dotazníku

4.8 Návod k úvodu do měření

Jak již bylo zmíněno, sestrojený návod měl za úkol uvést každého člověka do problematiky měření, zmínit vše důležité před začátkem měření a usnadnit celkový experiment pro amatérský vzorek. Obsahuje přepis všech volacích znaků letadel, která se nacházejí v jednotlivých scénářích. Druhou částí návodu je sepsaný úvod do měření, který má každého jednotlivce připravit na samotný experiment a celkový průběh. Kompletně sestavený návod se nachází taktéž v příloze této práce. [Příloha 2]

RYR3ZH – **RYANAIR** THREE ZULU HOTEL
AUA711 – **AUSTRIAN** SEVEN ONE ONE
N795MA – NOVEMBER SEVEN NINER FIVE MIKE ALFA

Obrázek 12: Příklad přepisu volacích znaků letadel
v návodu

5. Experimentální měření

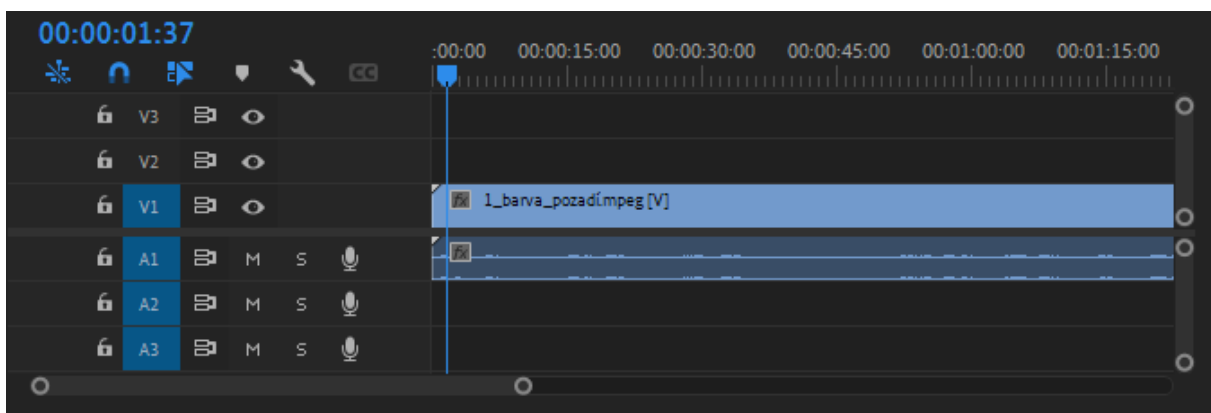
Celé měření proběhlo v měsíci listopadu 2022. Zúčastnilo se ho celkově 20 lidí z populačního vzorku. Jak již bylo zmíněno, zkušenost v oblasti ATC byla u každého jedince ze vzorku silně individuální. Část populačního vzorku absolvovala předmět Postupy ATC v rámci jednoho semestru a je obeznámena s prostředím simulátoru, frazeologií a postupy v řízení. Celková doba experimentálního měření v rámci praktické části probíhala necelých 14 dnů. Každý jednotlivec z populačního vzorku měl stejné podmínky pro měření. Při příchodu na simulátor byl seznámen s celkovým průběhem a postupem měření za pomoci připraveného návodu. Následně byl usazen k počítači, na kterém testování probíhalo po celou dobu. Byla provedena kalibrace eye-trackeru pro zlepšení snímání pohybu očí jedince, který je z podstaty velmi individuální. Poté byly subjektu spuštěny všechny čtyři grafické scénáře postupně, od nultého po třetí. Open Broadcaster Studio software při tom nahrával záznam z obrazovky, kde byl spuštěný videozáznam a záznam eye-trackeru. Výstupem u každého subjektu byla sada čtyř videozáznamů obsahující připravené scénáře a eye-tracker trajektorii. Po absolvování záznamů každý subjekt vyplňoval zmiňovaný dotazník experimentálního měření v Google Forms. Mohl tím tedy sdělit subjektivní dojmy a preference z celého měření. Vyplněním dotazníku bylo celé měření dokončeno.



Obrázek 13: Ukázka záznamu eye-tracker trajektorie

5.1 Postup vyhodnocení reakčních dob v měření

Sběr dat v podobě reakčních dob z jednotlivých záznamů probíhal v prostředí videoeditoru Adobe Premiere Pro 2022. Každý jednotlivý videozáznam byl nahrán do tohoto softwaru a následně spuštěn. Časová osa v editoru sloužila jako prostředí zachycení reakční doby. Začátek reakce byl stanoven na ohlášení letadla, tedy zaznění jeho volacího znaku. Konec reakční doby byl reprezentován jako zaměření se na dané letadlo, resp. jeho elektronický formulář. Zaměření představoval zmíněný červený sytý bod z trajektorie zachycené eye-trackerem. Na časové ose byly tedy zaznačeny tyto dva body – počáteční a koncový. Rozdíl mezi nimi byla tedy ona reakční doba na podnět. Jednotlivé reakční doby byly zaokrouhlovány na celé vteřiny.



Obrázek 14: Časová osa v Adobe Premiere Pro 2022



Pro každý z dvaceti subjektů byla v programu Microsoft Excel vytvořena samostatná tabulka pro záznam jednotlivých hodnot reakčních dob. Sloupce tabulky reprezentovaly jednotlivé scénáře. Řádky představovaly volací znaky letadel. Každý ze záznamů obsahoval různé variace letadel a jejich volacích znaků. Snížila se tak tedy pravděpodobnost ovlivnění reakčních dob ze strany jedince, který by si mohl v případě stejných letadel v každém scénáři jednoduše zapamatovat, kde se jednotlivá letadla nacházejí a zkreslit tak nevědomě výsledky měření. Hodnoty vepsané v tabulkách jsou počet vteřin, tedy doba reakce. Červeně označená pole znamenají, že se v daném scénáři konkrétní letadlo nevyskytovalo. Všechny tabulky reakčních dob se nacházejí v příloze této práce. [Příloha 3]

Tabulka 1: Vyhodnocení reakčních dob prvního subjektu

1	Nultý scénář	První scénář	Druhý scénář	Třetí scénář
EXS9FQ	5			
RYR3ZH	2			
AUA711	3			
N795MA	4			
N605M	12			
DEJWA	8			
AHO840E	2			
DEBSE	7			
CSA1DZ		2		
VKA149		1	3	0
DLH3P		9		
NYX935		4	0	
MGL3164		5	3	
TIE32FP		9		
TVS2825		3	16	1
AMC539		8	0	11
FDB3CF				7
TVF4038				0
WZZ104M				10
OKPHM			6	1



Pro každý ze čtyř scénářů byla nakonec vytvořena samostatná tabulka zobrazující střední hodnotu (medián) reakčních dob všech dvaceti subjektů. Na tomto základě byly nakonec sestrojeny grafy zobrazující střední reakční doby jednotlivých subjektů v každém scénáři zvlášť, které se následně porovnávaly mezi sebou. Tyto čtyři tabulky zobrazují i aritmetický průměr reakčních dob. Od použití této funkce bylo nakonec upuštěno z důvodu nezobrazování okrajových hodnot v reakčních dobách. Zobrazení okrajových hodnot měření je důležité pro zjištění extrémů, které bylo následně možné porovnat se zbytkem výsledků v rámci finální komparace. Pro možnost zobrazení a následného užití okrajových hodnot, byla pro finální vyhodnocení zvolena prostřední hodnota medián. Všechny čtyři tabulky se nacházejí v příloze této práce. [Příloha 3]

Tabulka 2: Reakční doby na
základě funkce v nultém scénáři

Nultý scénář	Aritmetický průměr	Medián
1	5,375	4,5
2	2	2
3	3,875	3
4	3	2,5
5	4,25	3
6	3,375	3
7	4,625	4,5
8	5,25	5
9	4,625	3
10	4,375	5
11	5,75	4
12	5,5	4,5
13	5,125	6
14	4,75	5,5
15	5,375	4,5
16	4,875	5,5
17	3,25	2,5
18	3,625	2,5
19	4,125	5
20	3,25	2,5

5.2 Postup vyhodnocení dotazníku experimentálního měření

Každý subjekt z populačního vzorku vyplnil dotazník na základě svých osobních preferencí. Pro uzavřené otázky, ve kterých byla možnost zaškrtnout pouze jednu odpověď, byl automaticky vytvořen v Google Forms graf, který prezentuje statistické výsledky pro danou otázku. V otevřených otázkách zadal každý subjekt svou odpověď ve formě stručného souvětí. Grafické vyhodnocení těchto odpovědí nebylo proveditelné. Každá z odpovědí je ryze

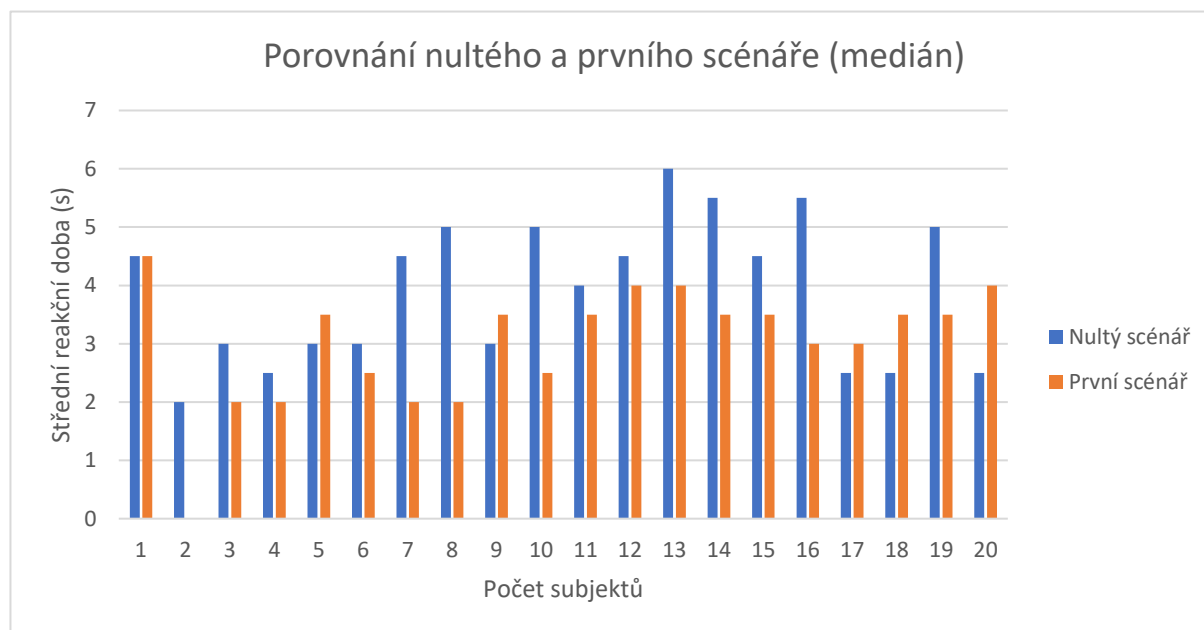


subjektivního charakteru a odlišuje se od ostatních. Bylo ovšem důležité, aby v dotazníku byl i prostor pro čistě subjektivní odpověď bez jejího předchozího výběru. Spektrum výsledků se tímto rozšiřuje, a navíc jsou výstupy z otevřených otázek důležitým vstupem pro celkovou diskusi výsledků.

6. Výsledky vyhodnocení reakčních dob v měření

Pro každý scénář zvlášť se tedy pracovalo se středními reakčními dobami všech dvaceti subjektů. Cílem měření bylo zhodnotit a porovnat tři graficky změněné scénáře s defaultním v jednotlivých grafech a poté porovnat všechny čtyři scénáře v grafu vedle sebe. Nejprve tedy došlo k zhodnocení výstupu porovnání nultého a prvního scénáře, poté nultého a druhého, nultého a třetího, a nakonec všech čtyř dohromady.

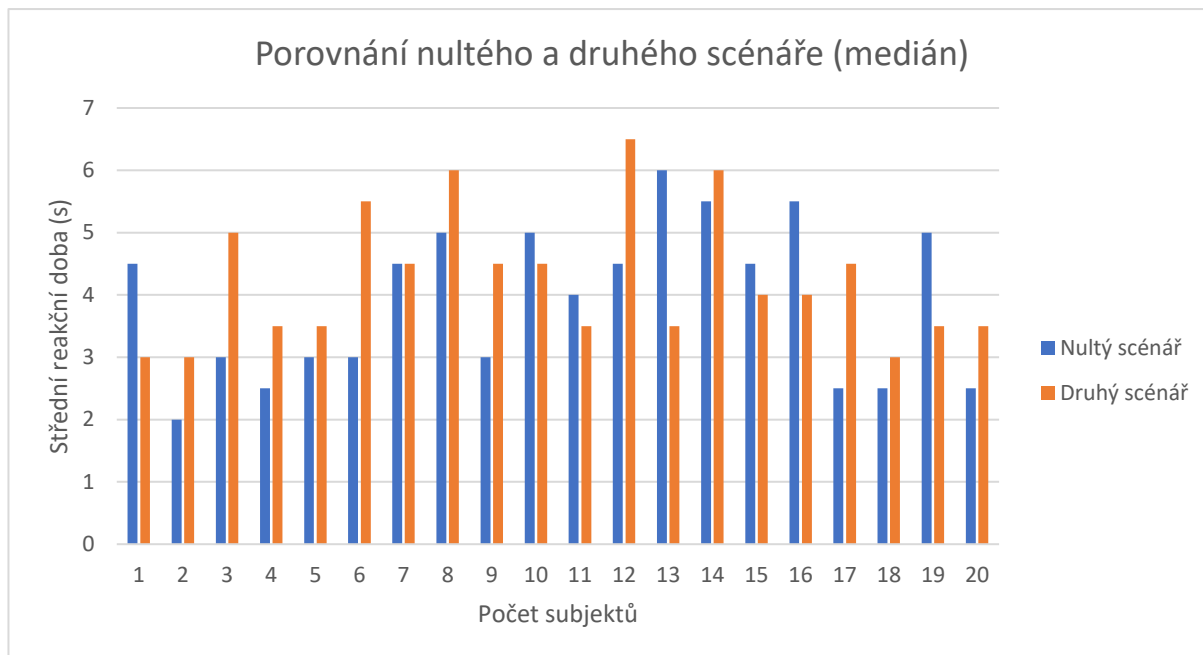
6.1 Porovnání nultého a prvního scénáře



Graf 1: Nultý vs první scénář

Nultý scénář představoval defaultní nastavení Escape. První scénář reprezentoval změněnou barvu pozadí – vnějšího a vnitřního prostoru; a také změněnou barvu pozadí elektronického formuláře. Nejvyšší střední hodnota reakční doby je zde šest vteřin v prvním scénáři. Nejnižší střední hodnota reakční doby je zde nula vteřin v případě druhého subjektu v prvním scénáři. Nulová hodnota mohla vzniknout náhodností pohledu subjektu v daný okamžik. Druhým vysvětlením může být také to, že daný jedinec mohl být v praxi ATC zkušenější a celý prostor očima skenoval, tj. neustále opakovaně přecházel pohledem všechna letadla v prostoru. Trend uživatelské preference je v rámci tohoto porovnání zřetelně viditelný. Na základě vyobrazených dat lze usuzovat, že je první scénář uživatelsky přívětivější nežli nultý. Druhou možností je fakt, že obecně nižší reakční doby v prvním scénáři mohly reprezentovat bližší seznámení se s celým simulačním prostředím a měřením. Každý subjekt po absolvování nultého scénáře již věděl, co bude muset vykonávat ve třech zbylých nastaveních.

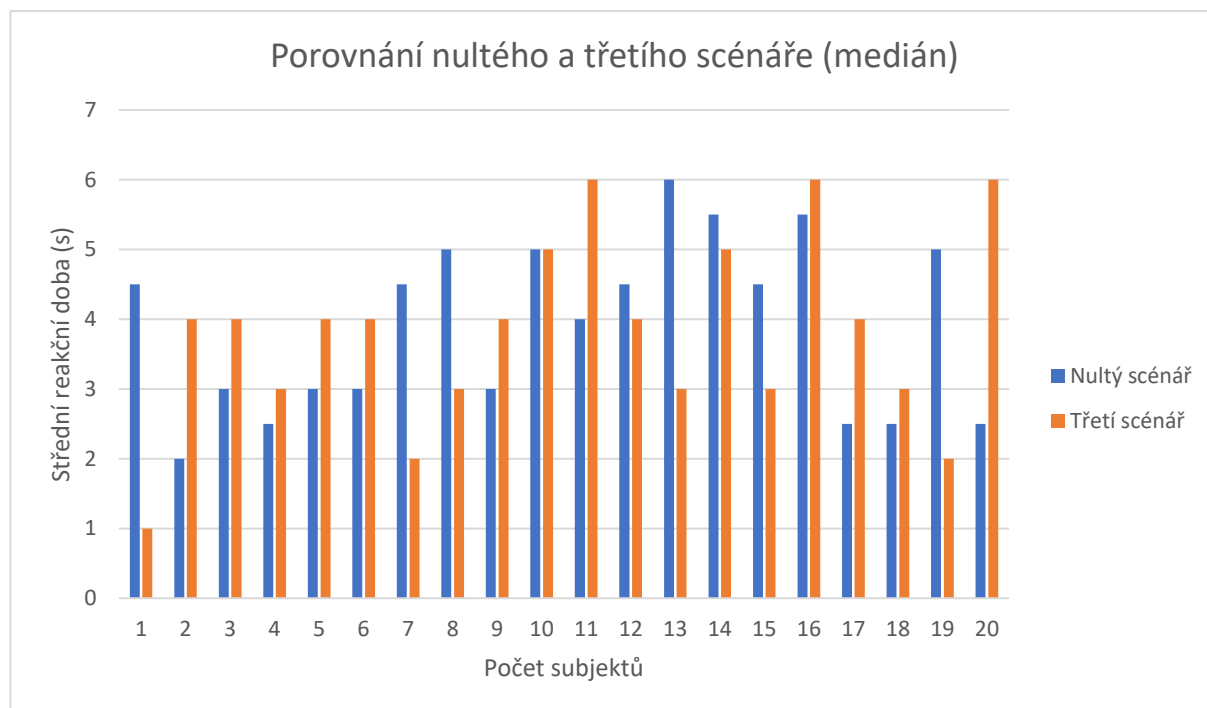
6.2 Porovnání nultého a druhého scénáře



Graf 2: Nultý vs druhý scénář

I v tomto případě představuje nultý scénář defaultní nastavení Escape. Druhý scénář reprezentoval změnou barvu fontu ve všech typech elektronického formuláře. Jednotlivé kategorie formulářů definují celkem tři typy letového provozu – známý, neznámý, přijatý. Nejvyšší střední reakční doba byla 6,5 vteřiny v případě druhého scénáře. Nejnižší střední reakční doba byla dvě vteřiny v nultém scénáři. Z celkem dvaceti subjektů vykazuje pouze sedm z nich nižší střední reakční doby v nultém scénáři. Je tedy možné tvrdit, že nižší střední reakční doby obsahoval druhý scénář. Na základě tohoto zjištění lze konstatovat, že druhý scénář byl taktéž uživatelsky přívětivější nežli nultý. Většina jedinců z populačního vzorku mohla zažívat pozitivnější uživatelskou zkušenost v rámci druhého grafického nastavení a to se mohlo následně odrážet v samotné reakční době při výkonu cvičení.

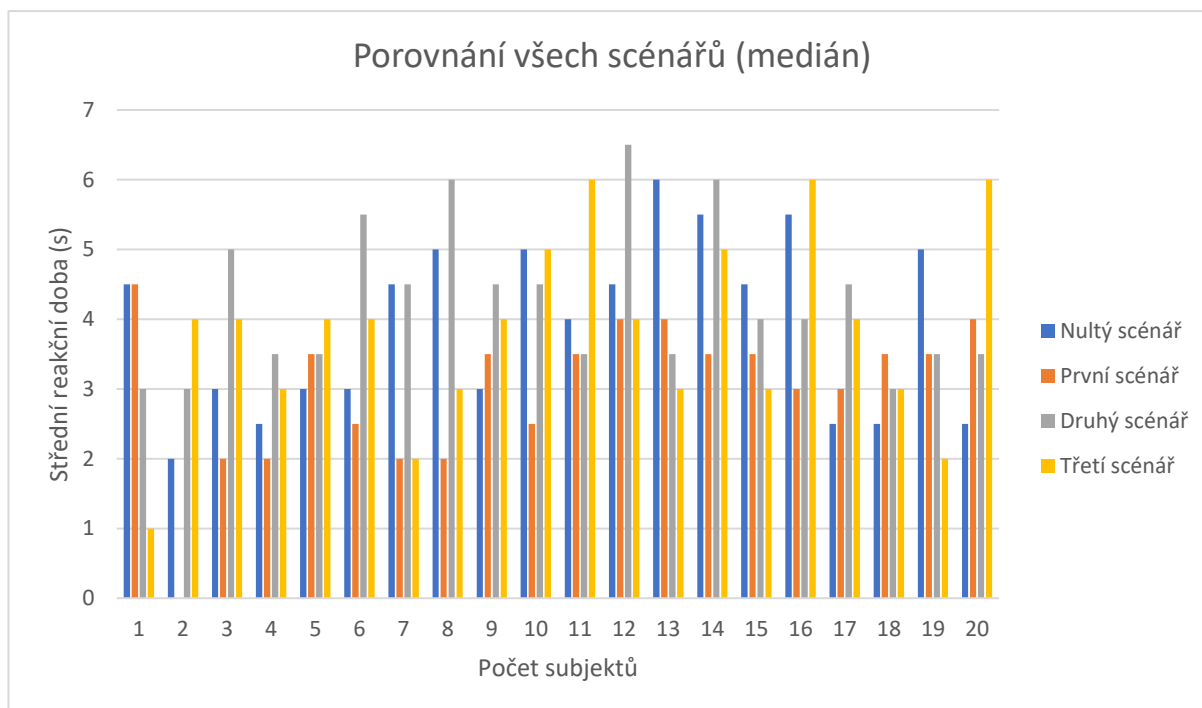
6.3 Porovnání nultého a třetího scénáře



Graf 3: Nultý vs třetí scénář

V třetím porovnání nultý scénář opět reprezentoval defaultní nastavení v Escape. Třetí scénář reflektoval odlišné nastavení fontu v elektronickém formuláři – typ písma a jeho velikost. Pro zachování čitelnosti formuláře v režimu selected (kurzor myši se nachází na formuláři a zobrazuje všechny navolené informace) a unselected (kurzor myši se nachází mimo samotný formulář a ten zobrazuje pouze část navolených informací) bylo třeba pozměnit samotnou velikost ohraničení formuláře pro tyto dva případy. Nejvyšší střední reakční doba šesti vteřin se vyskytovala u obou scénářů. Nejnižší střední reakční doba jedné vteřiny byla zaznamenána pouze v třetím scénáři. Trend v případě tohoto porovnání poukazuje na fakt jasné uživatelské preference nultého scénáře, kde pravděpodobně většina jedinců z populačního vzorku zažívala pozitivnější uživatelskou zkušenost díky původnímu defaultnímu nastavení Escape. Toto nastavení mohlo být pro většinu uživatelů lépe rozpoznatelné a čitelné, což mohlo mít za následek lepší schopnost reagovat v rámci cvičení. Jedná se tedy o jediné porovnání, kdy připadá uživatelská preference k defaultnímu grafickému nastavení.

6.4 Porovnání všech scénářů



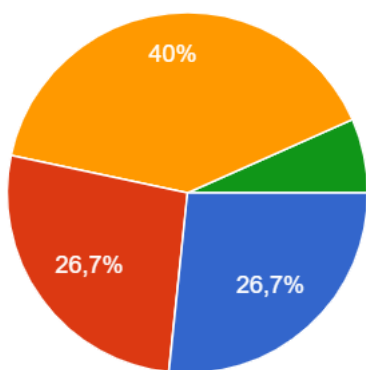
Graf 4: Komparace scénářů navzájem

Co se týče extrému grafu v celkovém porovnání, tak nejvyšší střední reakční doba byla zaznamenána v druhém scénáři, a sice 6,5 vteřiny. Naopak nejnižší střední reakční doba se vyskytovala v prvním scénáři, v tomto případě nula vteřin. Při pohledu do grafu lze konstatovat, že z uživatelského hlediska vychází z celkového porovnání nejlépe první scénář. Je možné si povšimnout, že tento scénář má obecně nižší střední reakční doby v rámci porovnání s ostatními scénáři. Trend grafu vzájemného porovnání naznačuje, že z uživatelského hlediska mohl mít grafickou preferenci první scénář.

Variabilita středních reakčních dob může podléhat faktu, že byli v rámci populačního vzorku na měření přítomni jak jedinci bez zkušeností v ATC, tak lidé, kteří mají v oblasti řízení letového provozu nějaké povědomí, resp. disponují praktickou zkušeností ze samotného řízení.

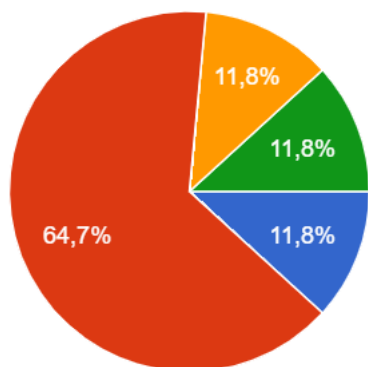
6.5 Výsledky vyhodnocení dotazníku experimentálního měření

První čtyři otázky obsahovaly uzavřené odpovědi, které byly stejné ve všech čtyřech otázkách. Každá z otázek byla směřována k jednomu z grafických scénářů. Cílem odpovědí bylo zjistit, jak byla pro populační vzorek složitá adaptace a orientace v konkrétním grafickém scénáři.



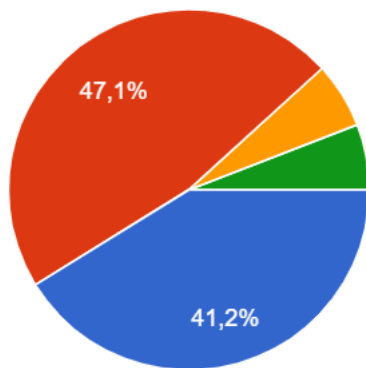
Graf 5: Nultý scénář

- Modrá – Bez problémů jsem se adaptoval/a, orientoval/a jsem se taktéž bez potíží
- Červená – Adaptoval/a jsem se s menšími problémy u některých cílů
- Oranžová – Obtížně jsem se adaptoval/a, měl/a jsem problém se orientací a nalezením většiny cílů
- Zelená – Náročně jsem se adaptoval/a, obtížně jsem hledal/a cíle a ztratil/a jsem přehled



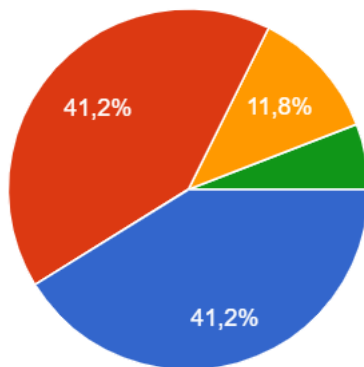
Graf 6: První scénář

- Modrá – Bez problémů jsem se adaptoval/a, orientoval/a jsem se taktéž bez potíží
- Červená – Adaptoval/a jsem se s menšími problémy u některých cílů
- Oranžová – Obtížně jsem se adaptoval/a, měl/a jsem problém se orientací a nalezením většiny cílů
- Zelená – Náročně jsem se adaptoval/a, obtížně jsem hledal/a cíle a ztratil/a jsem přehled



Graf 7: Druhý scénář

- Modrá – Bez problémů jsem se adaptoval/a, orientoval/a jsem se taktéž bez potíží
- Červená – Adaptoval/a jsem se s menšími problémy u některých cílů
- Oranžová – Obtížně jsem se adaptoval/a, měl/a jsem problém se orientací a nalezením většiny cílů
- Zelená – Náročně jsem se adaptoval/a, obtížně jsem hledal/a cíle a ztratil/a jsem přehled



Graf 8: Třetí scénář

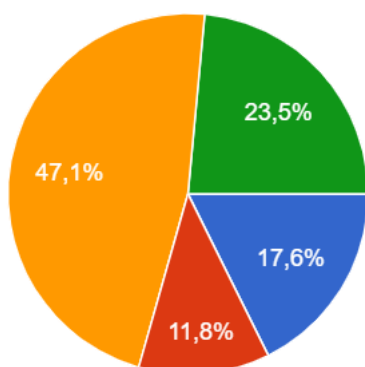
- Modrá – Bez problémů jsem se adaptoval/a, orientoval/a jsem se taktéž bez potíží
- Červená – Adaptoval/a jsem se s menšími problémy u některých cílů
- Oranžová – Obtížně jsem se adaptoval/a, měl/a jsem problém se orientací a nalezením většiny cílů
- Zelená – Náročně jsem se adaptoval/a, obtížně jsem hledal/a cíle a ztratil/a jsem přehled

Výsledky procesů adaptace a orientace nasvědčují tomu, že v tomto ohledu vyhovoval většině jedinců z populačního vzorku první scénář. U prvního scénáře většina subjektů souhlasila s tvrzením, že proces adaptace a orientace je v tomto případě uspokojivý, až na výjimky u některých cílů. V rámci druhého a třetího scénáře byla zaznamenána vyšší míra obtížnosti adaptace a orientace u některých cílů. U defaultního scénáře přes čtyřicet procent dotazovaných uvedlo, že zmíněné procesy byly obtížné a pro některé jedince až příliš náročné. To může korespondovat s faktem, že část populačního vzorku měla velmi malou předchozí zkušenost v oblasti ATC. Lze tedy objektivně tvrdit, že z hlediska procesu adaptace a orientace dopadly uživatelsky pozitivněji a kladněji graficky změněné scénáře, které obsahují pouze část defaultních prvků grafického rozhraní.



Ve čtyřech otevřených otázkách byl každý člověk tázán, jak subjektivně působí daný změněný parametr v konkrétním scénáři, resp. jak vnímá defaultní nultý scénář. Získané odpovědi potvrdily, že každý jedinec ze vzorku má své subjektivní preference a změnu v grafice vnímá každý silně individuálně. Pro část vzorku je defaultní nastavení zmatečné a nepřehledné a více jim vyhovuje nějaký ze změněných scénářů. Jiná část vzorku má opačné vnímání a zbytek má na všechny grafické scénáře neutrální názor, kde jim část prostředí vyhovuje a další část ne.

Poslední otázka byla uzavřená a týkala se osobního upřednostnění jednoho ze čtyř scénářů. Nejvíce preferencí získal druhý scénář se změnou barvou fontu v elektronických formulářích. Tento výsledek ovšem nekoreluje s výsledky koláčových grafů výše, a ani s daty naměřenými v rámci reakční doby. Čtvrtinovou preferenci získal třetí scénář. Nultý a první scénář získaly v průzkumu preference pod dvacet procent. Opět tedy z tohoto grafu vyplývá, že preference změněné grafiky rozhraní je vyšší, než ponechání rozhraní v defaultním nastavení.



- Modrá – nultý scénář
- Červená – první scénář
- Oranžová – druhý scénář
- Zelená – třetí scénář

Graf 9: Preference jednotlivých scénářů



7. Diskuze výsledků

Porovnání výsledků experimentálního měření v jednotlivých scénářích přineslo evidenci o tom, že pouze v případě srovnání nultého a třetího scénáře vede k vyústění, že uživatelská preference je na straně nultého scénáře. Třetí scénář zřejmě mohl přinést velmi odlišnou uživatelskou zkušenost, která se ve výsledku projevila negativně. Změna velikosti elektronického formuláře a následná výměna fontu a jeho velikosti ve formuláři mohla být parametrem, který skutečně působil nepřehledně v rámci statistických dat. Preference prvního a druhého scénáře před nultým byla taktéž z grafů jasně patrná. Není nepravděpodobné, že kontrastní barva pozadí v prvním scénáři mohla určitým způsobem ovlivnit čitelnost elektronických formulářů a tím ji pro některé jedince zlepšit. Je ale nutné zmínit, že po absolvování defaultního scénáře měly již všechny subjekty představu o celkovém průběhu měření – získaly zkušenost, která byla pro některé jedince nová. Zároveň v případě druhého scénáře je možné, že kontrastní barvy fontu v jednotlivých typech elektronických formulářů, mohly celý formulář učinit lépe viditelný vůči modrým odstínům pozadí vnitřního a vnějšího prostoru.

Dotazník experimentálního měření poukázal na fakt, že graficky pozměněné scénáře obecně přinášejí lepší a plynulejší proces adaptace a orientace na situaci. Defaultní grafické nastavení naopak získalo spíše negativní ohodnocení týkající se těchto procesů. Konkrétní změněné parametry v jednotlivých scénářích nelze nikterak unifikovat z pohledu uživatelské přívětivosti. Je možné, že i s vyšším počtem jedinců v populačním vzorku by výsledky byly stejně nejednotné a čistě subjektivní v závislosti na vnitřních preferencích každého jednotlivce. Preference jednotlivých scénářů přinesla výsledek, že téměř tři čtvrtiny dotazovaných upřednostňují nějaký ze změněných grafických scénářů. Pouze necelých osmnáct procent dotazovaných by si vybralo pro výkon své práce ATCO defaultní nultý scénář. Je tedy možné, že pro většinu populačního vzorku není defaultní nastavení uživatelsky komfortní a působí spíše negativně.

Nejvyšší střední reakční doba s hodnotou 6,5 vteřiny byla v průběhu vyhodnocení zaznamenána jednou. Reakční doba šesti vteřin byla zaznamenána vícekrát. Tato hodnota je již poměrně vysoká a v případě nutnosti reagovat co nejdříve, by byla v reálném provozu velmi problematická. Tyto hodnoty úzce souvisí s rozdílnou zkušeností subjektů v populačním vzorku. Cílem práce bylo ovšem zjistit subjektivní preferenci grafického nastavení bez ohledu na předchozí zkušenost.



Z výsledků statistických dat a dotazníku lze usuzovat, že uživatelská zkušenost s prostředím, které reflektuje grafické nastavení rozhraní, úzce souvisí se schopností člověka reagovat. Obecně nižší hodnoty reakčních dob byly zaznamenány u graficky změněných scénářů. Zmíněná změněná nastavení taktéž dopadla lépe v dotazníku subjektivních preferencí.

Limitací této práce je především počet jedinců v populačním vzorku. V případě jeho rozšíření by mohlo být konečné spektrum výsledků více relevantní. Pro budoucí výzkumy je tedy důležité na tuto rešerši navázat s ideálně vyšším počtem jednotlivců a další přinesené výsledky zrevidovat a případně potvrdit, či vyvrátit. Zároveň by bylo vhodné testovat jednotlivé změněné grafické parametry zvlášť. Je možné, že kombinace vícero scénářů naráz zkresluje výsledky. Testování jednotlivých scénářů v rámci samostatných prací by mohlo přinést relevantnější výstupy.



8. Závěr

Cílem práce bylo zjistit, jaký vliv má změna grafického parametru v rámci GUI na schopnost řídicího reagovat a udržet si pozornost, resp. povědomí o situaci. Neustálý přínos nových výsledků na pole výzkumu v oblasti ATC má kritický význam pro další a kontinuální zdokonalování procesů a standardů v této oblasti.

Výsledky této práce nepřinesly jednoznačnou odpověď na to, který z grafických scénářů je nejvhodnější z hlediska reakční doby na podněty a obecně pozitivní uživatelské zkušenosti díky nastaveným grafickým parametrům. Takové obecné tvrzení je mimo rozsah této práce zejména z toho důvodu, že populační vzorek, který se účastnil měření, nebyl dostatečně velký na to, aby z práce mohla vyvstat takto obecná a široká vyústění.

Většina jedinců z populačního vzorku si z hlediska reakční doby vedla lépe v graficky pozměněných scénářích. Taktéž z hlediska subjektivních preferencí by si vícero lidí vybralo pro svou práci jeden z pozměněných scénářů.

Defaultní grafické nastavení podléhá standardům užívaným v tomto odvětví a jeho užití je opodstatněno řadou výzkumů. Aby data získaná v tomto výzkumu mohla být nadále platná, je nutné, aby následovaly další výzkumy a řešerše v oblasti této problematiky. Naměřená data by tedy získala na své relevantnosti a obecném přínosu.

Finální výsledky tohoto výzkumu také poukazují na fakt, že grafické nastavení rozhraní v řízení letového provozu velmi podléhá subjektivním preferencím jedince. Je tedy pravděpodobné, že pokoušet se v tomto ohledu o jakoukoliv striktní unifikaci a standardizaci grafických parametrů, je spíše kontraproduktivní, neboť každému jedinci vyhovuje jiné grafické nastavení.

Vyústěním práce je tedy fakt, že vhodnost a parametry grafického nastavení jsou subjektivní preferencí a pokud jedinci dané nastavení vyhovuje, ačkoli je mimo standardizovanou škálu, může to podpořit jeho schopnost reagovat a celé rozhraní celkově pozitivně a kladně vnímat.



9. Seznam použité literatury

- [1] BOUCHAL, Albert. *KONCEPT VYUŽITÍ SIMULÁTORU ATC NA ÚSTAVU LETECKÉ DOPRAVY* [online]. Praha, 2021 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/97527>. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, Ústav letecké dopravy.
- [2] GIRAUDET, L., J-P. IMBERT, M. BÉRENGER, S. TREMBLAY a M. CAUSSE. *The neuroergonomic evaluation of human machine interface design in air traffic control using behavioral and EEG/ERP measures* [online]. France, Canada, 2015 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166432815301121?via%3Dihub>. Academic thesis. Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace, Ecole Nationale de l'Aviation Civile, Université de Toulouse, Université Laval.
- [3] BORISOV, Vadim, Enkelejda KASNECI a Gjergji KASNECI. *Robust cognitive load detection from wrist-band sensors* [online]. Germany, 2021 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2451958821000646?via%3Dihub>. Academic thesis. The University of Tübingen.
- [4] LANINI-MAGGI, Sara, Ian T. RUGINSKI, Thomas F. SHIPLEY, Christophe HURTER, Andrew T. DUCHOWSKI, Benny B. BRIESEMEISTER, Jihyun LEE a Sara I. FABRIKANT. *Assessing how visual search entropy and engagement predict performance in a multiple-objects tracking air traffic control task* [online]. USA, Switzerland, Germany, France, 2021 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2451958821000750?via%3Dihub>. Academic thesis. University of Zurich, Temple University, Ecole Nationale de l'Aviation Civile, University of Toulouse, Clemson University, School of Computing, Free University, Neurospective GmbH, ETH.
- [5] RUSKIN, Keith J, Chase CORVIN, Stephen RICE, Grace RICHARDS, Scott R. WINTER a Anna Clebone RUSKIN. *Alarms, alerts, and warnings in air traffic control: An analysis of reports from the Aviation Safety Reporting System* [online]. USA, 2021 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590198221002074?via%3Dihub>. Academic thesis. University of Chicago, Embry-Riddle Aeronautical University.



- [6] BERBERIAN, Bruno, Oliver OHNEISER, Francesca DE CRESCENZIO, Fabio BABILONI, Gianluca DI FLUMERI a Andreas HASSELBERG. *MINIMA Project: Detecting and Mitigating the Negative Impact of Automation* [online]. France, Italy, Germany, 2017 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/317654896_MINIMA_Project_Detecting_and_Mitigating_the_Negative_Impact_of_Automation. Academic thesis. The French Aerospace Lab ONERA, University of Bologna, Sapienza University of Rome, German Aerospace Center (DLR).
- [7] LIN, Yi. *Spoken Instruction Understanding in Air Traffic Control: Challenge, Technique, and Application* [online]. China, 2021 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2226-4310/8/3/65/htm>. Academic thesis. College of Computer Science, Sichuan University.
- [8] PALMA FRAGA, Ricardo, Ziho KANG, Jerry M. CRUTCHFIELD a Saptarshi MANDAL. *Visual Search and Conflict Mitigation Strategies Used by Expert en Route Air Traffic Controllers* [online]. USA, 2021 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2226-4310/8/7/170/htm>. Academic thesis. University of Oklahoma, Civil Aerospace Medical Institute AAM-520, Federal Aviation Administration.
- [9] OHNEISER, Oliver, Jyothsna ADAMALA a Ioan-Teodor SALOMEA. *Integrating Eye- and Mouse-Tracking with Assistant Based Speech Recognition for Interaction at Controller Working Positions* [online]. Germany, Romania, 2021 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2226-4310/8/9/245/htm>. Academic thesis. German Aerospace Center (DLR), Institute of Flight Guidance, Clausthal University of Technology, Technische Universität Chemnitz, "Politehnica" University of Bucharest.
- [10] WANG, Yanjun, Rongjin HU, Siyuan LIN, Michael SCHULTZ a Daniel DELAHAYE. *The Impact of Automation on Air Traffic Controller's Behaviors* [online]. China, Germany, France, 2021 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2226-4310/8/9/260/htm>. Academic thesis. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, AVIC ATM System and Equipment Co., Technische Universität Dresden, Ecole Nationale de l'Aviation Civile.
- [11] ENDSLEY, Mica R. *Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems* [online]. 1995 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/210198492_Endsley_MR_Toward_a_Theory_of_Si



tuation_Awareness_in_Dynamic_Systems_Human_Factors_Journal_371_32-64. Academic thesis. SA Technologies.

[12] HOLLNAGEL, Erik, Jorg LEONHARDT, Luigi MACCHI a Barry KIRWAN. *White Paper on Resilience Engineering (Eurocontrol)* [online]. 2009 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/282325318_White_Paper_on_Resilience_Engineering_Eurocontrol. Academic thesis. Resilient Systems Plus, Dedale, European Organisation For The Safety Of Air Navigation.

[13] YOTO, Ai, Tetsuo KATSUURA, Koichi IWANAGA a Yoshihiro SHIMOMURA. *Effects of Object Color Stimuli on Human Brain Activities in Perception and Attention Referred to EEG Alpha Band Response* [online]. Japan, 2007 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/6198060_Effects_of_Object_Color_Stimuli_on_Human_Brain_Activities_in_Perception_and_Attention_Referred_to_EEG_Alpha_Band_Response. Academic thesis. University of Shizuoka, Chiba University.

[14] RACEY, Chris, Anna FRANKLIN a Chris M. BIRD. *The processing of color preference in the brain* [online]. UK, USA, 2018 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1053811919301375?via%3Dihub>. Academic thesis. University of Sussex, University of Wisconsin-Madison.

[15] GASSER, Michael, Julie Boeke Mary HAFFEMAN a Rowena TAN. *The Influence of Font Type on Information Recall* [online]. USA, 2005 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/237229931_The_Influence_of_Font_Type_on_Information_Recall. Academic work. University of Northern Iowa.

[16] FRIEDMAN-BERG, Ferne, Kenneth R. ALLENDOERFER a Atul DESHMUKH. *Moving Toward an Air Traffic Control Display Standard: Creating a Standardized Color Palette for Terminal Situation Displays* [online]. USA, 2008 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/271527974_Moving_Toward_an_Air_Traffic_Control_Display_Standard_Creating_a_Standardized_Color_Palette_for_Terminal_Situation_Displays. Academic thesis. FAA.

[17] FRIEDMAN-BERG, Ferne, Kenneth R. ALLENDOERFER a Atul DESHMUKH. *Moving Toward an Air Traffic Control Display Standard: Creating a Standardized Target Symbolology for Terminal Situation Displays* [online]. USA, 2010 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z:



https://www.researchgate.net/publication/271527995_Moving_Toward_an_Air_Traffic_Control_Display_Standard_Creating_a_Standardized_Target_Symbology_for_Terminal_Situation_Displays. Academic thesis. FAA.

[18] XING, Jing a David SCHROEDER. *Reexamination of Color Vision Standards, Part 2. A Computational Method to Assess the Effect of Color Deficiencies in Using ATC Displays* [online]. USA, 2006 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/235190680_Reexamination_of_Color_Vision_Standards_Part_2_A_Computational_Method_to_Assess_the_Effect_of_Color_Deficiencies_in_Using_ATC_Displays. Academic thesis. FAA.

[19] XING, Jing a David Schroeder. *Reexamination of Color Vision Standards, Part I: Status of Color Use in ATC Displays and Demography of Color-Deficit Controllers* [online]. USA, 2006 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/235115579_Reexamination_of_Color_Vision_Standards_Part_I_Status_of_Color_Use_in_ATC_Displays_and_Demography_of_Color-Deficit_Controllers. Academic thesis. FAA.

[20] FINCANNON, Thomas a Todd TRUITT. *Standard Practices and Guidance for the Selection and Use of Time-Based Information on NextGen ATC Displays* [online]. USA, 2018 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/326778611_Standard_Practices_and_Guidance_for_the_Selection_and_Use_of_Time-Based_Information_on_NextGen_ATC_Displays. Academic thesis. FAA.

[21] OHNEISER, O., M. JAUER, H. GÜRLÜK a H. SPRINGBORN. *ATTENTION GUIDANCE PROTOTYPE FOR A SECTORLESS AIR TRAFFIC MANAGEMENT CONTROLLER WORKING POSITION* [online]. Germany, Austria, 2018 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: <https://www.dglr.de/publikationen/2018/480189.pdf>. Academic thesis. German Aerospace Center (DLR), Institute of Flight Guidance, 2 FH Joanneum – University of Applied Sciences.

[22] JEANNOT, Emmanuelle, Christopher KELLY a David THOMPSON. *The Development of Situation Awareness Measures in ATM Systems* [online]. 2003 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/311065719_The_Development_of_Situation_Awar



ness_Measures_in_ATM_Systems. Academic thesis. EJ Language Services, Wessex Human Factors Ltd.

[23] *What is HMI?* [online]. USA: Inductive Automation [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: <https://www.inductiveautomation.com/resources/article/what-is-hmi>

[24] *The Effects of Working Memory, Perceptual Speed, and Inhibition in Aggregated Search* [online]. USA: ACM DIGITAL LIBRARY, 2018 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: <https://dl.acm.org/doi/fullHtml/10.1145/3322128>

[25] *How We Use Selective Attention to Filter Information and Focus* [online]. USA: verywell mind [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: <https://www.verywellmind.com/what-is-selective-attention-2795022>

[26] *Visual Scanning* [online]. USA: CogniFit [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: <https://www.cognifit.com/science/cognitive-skills/visual-scanning>

[27] CANISIUS, Sebastian a Thomas PENZEL. *Vigilance monitoring - Review and practical aspects* [online]. Germany, 2007 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/6493135_Vigilance_monitoring_-_Review_and_practical_aspects. Academic thesis. Charité Universitätsmedizin Berlin.

[28] Spatial visualization ability. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Spatial_visualization_ability

[29] *What Is Conscientiousness?* [online]. USA: verywell mind [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: <https://www.verywellmind.com/how-conscientiousness-affects-your-behavior-4843763>

[30] *What is cognitive flexibility, and why does it matter?* [online]. USA: BetterUp [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: <https://www.betterup.com/blog/cognitive-flexibility>

[31] OHNEISER, Oliver, Hejar GÜRLÜK, Malte-Levin JAUER, Ádám SZÖLLŐSI a Dóra BALLÓ. *Successful Guidance of Air Traffic Controller's Attention* [online]. Germany, Hungary [cit. 2022-09-21]. Academic thesis. German Aerospace Center (DLR), Institute of Flight Guidance, HungaroControl Zrt.

[32] HUM-SIM PRINCIPLES FOR THE DESIGN OF RADAR SIMULATION EXERCISES AND COURSE DEVELOPMENT, EUROCONTROL, 2015



Jean-Paul Imbert, H.M Hodgetts, Robert Parise, François Vachon, Frédéric Dehais, et al..
Attentional costs and failures in air traffic control notifications. Ergonomics, Taylor & Francis,
2014

[33] *indra* [online]. 2022 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z:
<https://www.indracompany.com/en>

[34] *ANS* [online]. 2022 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: <https://www.ans.cz/>

[35] *Thales* [online]. 2022 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z:
<https://www.thalesgroup.com/en>

[36] *EUROCONTROL* [online]. 2022 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z:
<https://www.eurocontrol.int/>

[37] FREIGANG, Michal. *PSYCHOFYZIOLOGICKÝ STAV ŽÁKŮ BĚHEM VÝCVIKU NA POZICI ŘÍDÍCÍ LETOVÉHO PROVOZU*. Praha, 2021. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, Ústav letecké dopravy.

[38] NASA-TLX. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA):
Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-10-16]. Dostupné z:
<https://en.wikipedia.org/wiki/NASA-TLX>

[39] FEAST test. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA):
Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-10-16]. Dostupné z:
https://en.wikipedia.org/wiki/FEAST_test

[40] BRANAGHAN, Russell J., Joseph S. O'BRIAN, Emily A. HILDEBRAND a L. Bryant FOSTER. Human–Computer Interaction. In: BRANAGHAN, Russell J., Joseph S. O'BRIAN, Emily A. HILDEBRAND a L. Bryant FOSTER. *Humanizing Healthcare – Human Factors for Medical Device Design* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2021, s. 307-331 [cit. 2022-10-04]. ISBN 978-3-030-64432-1. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-030-64433-8_12



10. Seznam příloh

Příloha 1 – Dotazník experimentálního měření, webový odkaz

Příloha 2 – Návod

Příloha 3 – Vyhodnocení měření