



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Ústav letecké dopravy

**Analýza metod zápisu letového povolení a jejich vliv na efektivitu
ŘLP**

**Analysis of clearance tracking methods and their impact on the
efficiency of ATC**

Diplomová práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Provoz a řízení letecké dopravy

Vedoucí práce: Ing. Terézia Pilmannová, MBA

Bc. Denis Tagunkov

Praha 2023

K621.....Ústav letecké dopravy

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Denis Tagunkov

Studijní program (obor/specializace) studenta:

navazující magisterský – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Analýza metod zápisu letového povolení a jejich vliv na efektivitu ŘLP**

Název tématu (anglicky): **Analyses of Clearance Tracking Methods and Their Impact on the Efficiency of ATC**

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je analyzovat a porovnat postupy zápisu letových povolení do papírových letových proužků, respektive elektronických letových štítků a jejich dopad na situační povědomí řídicího a efektivitu řízení letového provozu.
- Analyzujte jednotlivé procesy zápisu letových povolení do papírových proužků a elektronických letových štítků s ohledem na pracovní postupy, čas a informace, které jsou potřebné zaznamenávat.
- Navrhněte zátěžový experiment.
- Proveďte experiment s pomocí simulátoru ATC – Escape Light, kde jednotlivé aspekty zaznamenáte a vyhodnotíte.
- Porovnejte přínos práce s papírovými, respektive elektronickými letovými štítky v souvislosti s efektivitou řízení letového provozu a situačním povědomím řídicího.
- Na základě získaných poznatků diskutujte optimální využití každé varianty pro konkrétní stanoviště řízení letového provozu.



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího diplomové práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: McClung, Sarah & Kang, Ziho. Characterization of Visual Scanning Patterns in Air Traffic Control. Computational Intelligence and Neuroscience, 2016.

Christophe Hurter, Rémi Lesbordes, Catherine Letondal, Strip-TIC : exploring augmented paper strips for Air Traffic Controllers, 2012

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

Datum zadání diplomové práce: **16. července 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 diplomové práce: **30. listopadu 2023**

- 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 diplomové práce.

Bc. Denis Tagunkov
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 16. května 2023



Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá porovnáním dvou metod zápisu letových povolení v řízení letového provozu – papírových letových proužků a systému stripless. Cílem práce je provést analýzu těchto metod a posoudit jejich vliv na efektivitu řízení letového provozu. Tato problematika nebyla předtím podobným způsobem zkoumaná, což slouží jako hlavní motivace pro tuto práci. Pro splnění cíle byl navržen a proveden výzkumný experiment, v rámci, kterého byla za využití speciální techniky měřená kriticky důležitá kvalita řídicího letového provozu – situační povědomí. Vyhodnocením provedeného experimentu se došlo k závěru, že systém zápisu letových povolení stripless se ze dvou zkoumaných metod z hlediska situačního povědomí jeví jako nejefektivnější pro řízení letového provozu.

Klíčová slova: řídicí, papírové proužky, stripless, situační povědomí, letecká doprava, experiment



Abstract

This master thesis focuses on the comparison of two methods of tracking flight clearances in air traffic control - paper progress strips and the stripless system. The aim of this thesis is to analyze these methods and assess their impact on the efficiency of air traffic control. This topic has not been studied in a similar way before, which is the main motivation for this thesis. To meet the objective, a research experiment was designed and conducted in which a critical air traffic controller quality - situational awareness, was measured using a special technique. By evaluation of the conducted experiment, it was concluded that the system of stripless flight clearance issuance appears to be the most effective for air traffic control in terms of situational awareness of the two methods investigated.

Key words: controller, paper strips, stripless, situation awareness, air traffic, experiment



Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucí mé diplomové práce paní Ing. Terézii Pilmannové, MBA za cenné připomínky ke struktuře, obsahu práce, odborné rady a metodické vedení a konzultace. Mnohokrát děkuji Ing. Stanislavu Schmidtovi za pomoc při přípravě a provedení experimentu, odborné rady a poskytnutí možnosti návštěvy pracoviště ŘLP Praha. Dále vyjadřuji své poděkování rodičům, prarodičům, bratrovi a přítelkyni za veškerou podporu, která mi byla poskytována po celou dobu mého studia na Fakultě dopravní ČVUT v Praze.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Analýza metod zápisu letových povolení a jejich vliv na efektivitu ŘLP vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k 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).

Praze dne 29. listopadu 2023

Podpis



Obsah

Úvod	13
1. Teoretický základ	14
1.1 Vývoj zápisu letových povolení a historie uvedení systémů do provozu....	14
1.2 Systém ATC.....	17
1.1.1 Pracoviště ATCO.....	18
1.1.2 Metody zápisu letových povolení.....	20
1.3 Práce s papírem vs. počítačem: Porovnání a vliv na kognitivní procesy.....	28
1.4 Kognitivní procesy v řízení letového provozu.....	32
1.5 Situační povědomí	36
1.6 Porovnání metod zápisů letových povolení.....	39
1.7 Limitace současného stavu	46
2. Metodika	47
2.1 Simulátor ESCAPE Light na ČVUT.....	47
2.2 Průběh experimentu	50
2.3 SAGAT.....	54
2.4 Zpracování a analýza dat	55
3. Výsledky	59
4. Diskuse	62
5. Závěr	67
Seznam použité literatury	69

Seznam obrázků

Obrázek 1 - ATCU 1939 [1].....	14
Obrázek 2 - Prototyp segmentu AAS – ISSS [4].....	16
Obrázek 3 - Stanoviště TWR, LKPR [Foto autora].....	19
Obrázek 4 - Stanoviště APP, LKPR [Foto autora].....	20
Obrázek 5 - Postupová tabule s FPS [10].....	22
Obrázek 6 - Příklad papírového FPS z APP [10].....	23
Obrázek 7 – Příklad prototypu EFS systému na letišti Schiphol [15].....	25
Obrázek 8 - ACC Geneva, stripless [17].....	27
Obrázek 9 - Výsledek vyhledávání konfliktní situace [17].....	28
Obrázek 10 - Schéma kognitivního modelu ATC [26]	33
Obrázek 11 - Schéma Situation Awareness [32]	38
Obrázek 12 - FPS Air France 540 [14].....	41
Obrázek 13 - Spolupráce dvou ATC na stanovišti [14].....	43
Obrázek 14 - Stanoviště řídicího ESCAPE Light na ÚLD [Foto autora]	48
Obrázek 15 - Příklad labelu ve systému stripless [Foto autora].....	49
Obrázek 16 - Zápis povolení výšky [Foto autora].....	49
Obrázek 17 - Boxploty pro otázky 1-4 [Foto autora]	59
Obrázek 18 - Boxploty pro otázky 5-8 [Foto autora]	60



Seznam tabulek

Tabulka 1 - Kognitivní model ATC od EUROCONTROL [28].....	35
Tabulka 2 - Seznam letů v rámci měření	53



Seznam symbolů a zkratk

μ	Střední hodnota
σ^2	Rozptyl
α	Hladina významnosti
AAS	Advanced Automation System
ACC	Area Control Center
APP	Approach Control Service
ATC	Air Traffic Control
ATCO	Air Traffic Controller
ATCU	Air Traffic Control Unit
ATM	Air Traffic Management
CFL	Cleared Flight Level
ČVUT	České vysoké učení technické
DFS	Deutsche Flugsicherung
DSNA	Direction des Services de la navigation aerienn
EFS	Electronic Flight Strips
ESCAPE	EUROCONTROL Simulation Capability and Platform Experimentation
ETA	Estimated time of arrival
FAA	Federal Aviation Administration
FIR	Flight Information Region
FPL	Flight Plan
FPS	Flight Progress Strips
IDENT	Identification
IFR	Instrument flight rules
ISSS	Initial Sector Suite System
LKPR	Letiště Václava Havla Praha (ICAO kód)
LKVO	Letiště Vodochody (ICAO kód)
NLR	Royal Netherlands Aerospace Center (National Aerospace Laboratory)
RWY	Runway
SA	Situation awareness
SAGAT	Situational awareness global assessment technique
SSR	Secondary surveillance radar



TAS	True Airspeed
TWR	Tower Control Service
ÚLD	Ústav letecké dopravy
VDP	Vzletová a přistávací dráha
VFR	Visual flight rules
VOR	VHF omnidirectional radio range



Úvod

Řídicí letového provozu (ATCO – air traffic controller) je kognitivně náročná práce, vyžadující nepřetržitou ostražitost a koncentraci. Na svém stanovišti či řídicím středisku využívá ATCO mimo jiné situační zobrazení pro sledování pohybů letadel a systém pro zaznamenávání povolení.

Existuje několik metod zápisu letových povolení a nejstarším jsou papírové letové proužky. Letový proužek (FPS – flight progress strip) poskytuje shrnutí nejdůležitějších informací o letu v tabulkové formě, na který řídicí zaznamenává vydané instrukce. Na situačním zobrazení pak dohlíží na jejich provedení. Další metodou jsou elektronické FPS. Jedná se o podobné letové proužky, plnící stejný účel, které jsou zobrazovány na displeji a pro manipulaci s nimi se používá digitální pero. Systém stripless (bez proužků) je aktuálně nejnovějším konceptem v řízení letového provozu, kde jsou letové informace a vydaná povolení plně integrované do obrazovky výnosu vzdušné situace a řídicí pak pracuje pouze s myší a klávesnicí, aniž by se používala jakákoliv podoba FPS pro zápis povolení.

Kognitivním základem práce řídicího je situační povědomí (SA – situational awareness), které musí zachovávat pro udržování trvale vysoké úrovně bezpečnosti a efektivity řízení letového provozu. SA je východiskem pro plánování a přijímání rozhodnutí a je podporované pamětí, naučenými legislativními procedurami poskytování služby ŘLP a standardy komunikace.

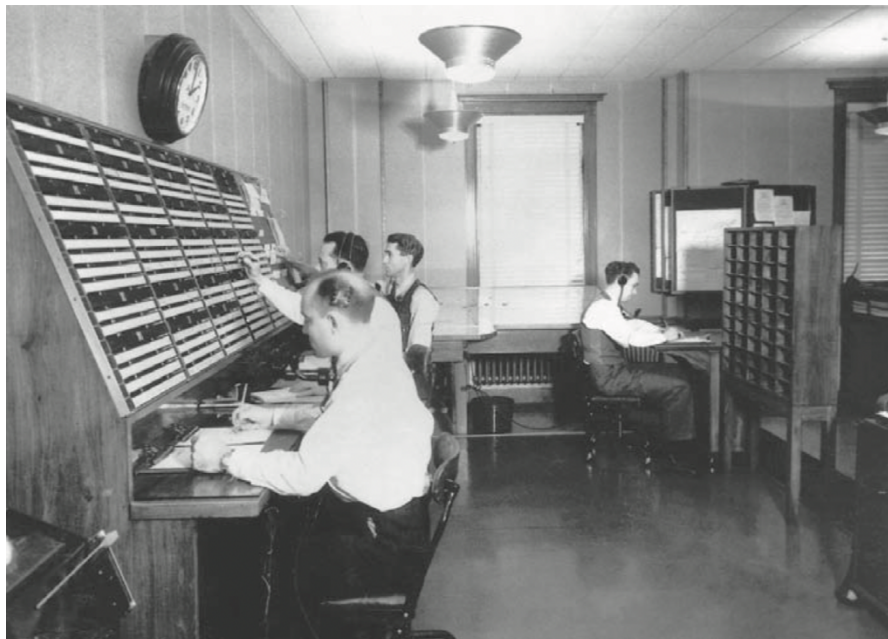
Metody zápisu letových povolení se od sebe liší svými fyzickými vlastnostmi, dostupnými funkcemi a způsobem, jak probíhá interakce člověk-papír a člověk-stroj z kognitivního hlediska. Fyzická přítomnost papíru hraje velkou roli pro paměť, kdežto na druhou stranu koncept stripless zbavuje člověka nutnosti sklánět hlavu dolů a střídat zóny koncentrace na pracovišti. Využití různých metod zápisu vede k dotazu, zda může člověk zachovávat kriticky důležité SA na stejné úrovni.

Cílem této práce je provést analýzu dvou metod zápisu povolení (papírových letových proužků a systému stripless) s ohledem na efektivitu při pomoci vyhodnocení SA vědeckým experimentem.

1. Teoretický základ

1.1 Vývoj zápisu letových povolení a historie uvedení systémů do provozu

Tato kapitola je zaměřená na seznámení čtenáře s krátkou historií vývoje metod zápisu letových povolení v řízení letového provozu. Její pokračování zahrnuje popis typů řídicích stanišť a podrobněji metod zápisu letových povolení.



Obrázek 1 - ATCU 1939 [1]

Proces řízení letového provozu byl ze začátku velice jednoduchý. Řídicí využívali barevné vlajky pro doručování povolení pilotům za letu či před vzletem. Později byl proces nahrazen zavedením návěsní svítilny, která se umístila na věž, odkud měli řídicí výhled do okolního prostoru letiště. Návěsní svítilny zůstali na věžích dodnes a slouží nyní jako nouzový způsob komunikace s posádkou v případě ztráty radiového spojení. Dále vznikla povinnost podávat letový plán, který zpracovávali a schvalovali či případně upravovali první řídicí centra ATCU – Air Traffic Control Unit [1]. Práce řízení letového provozu a zajišťování rozestupů na takovém ATCU spočívala v tom, že řídicí posouvali po velké letecké mapě tzv. krevetové lodičky, symbolizující pohyb letadel v prostoru a veškeré změny či vydaná povolení se zapisovaly na křídovou tabuli. Postupem času se

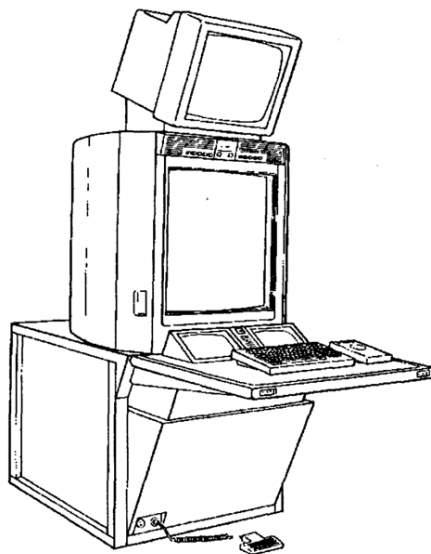


začali používat papírové proužky, kam se zapisovali základní informace z letového plánu. Ty se následně ukládali dle aktuálního pořadí do postupové tabule. Dostali název flight progress strips (FPS) – letové proužky. Obrázek č.1 je z roku 1939 a znázorňuje, jak řídící v ATCU používají postupovou tabuli s papírovými proužkami [1]. Na obrázku č.1 je vidět, jak jeden z pracovníků stanoviště ATC komunikuje s posádkami letadel, zatímco jeho kolegové zaznamenávají vydaná povolení na papírové proužky a následně je seřazují na velké tabuli. Letové proužky byly zavedeny koncem 30. let a několik desetiletí se jejich podoba příliš neměnila, i když v 50. letech již vznikala potřeba tento systém modernizovat novějšími výkonnými nástroji, aby řídící drželi krok s vývojem leteckého provozu. Mezi tyto nástroje patřily výpočtové systémy zpracovávající letová povolení a údaje o poloze letadel pro poskytování varování o potenciálních konfliktech. V důsledku toho bylo rozhodnuto, že vydaná letová povolení a jiné údaje o změně trasy a výšek letadel, které se zapisovali řídícími na papírové proužky bylo nutné zaměnit digitální podobou – electronic flight strips (EFS) – elektronické letové proužky [2]. Nicméně se pokusy o zavádění EFS, zahrnující systém detekci nadcházejících konfliktů, často setkávali s odmítnutím ze strany řídících ještě ve fázi testování.

Ve Velké Británii se začali zabývat digitálními náhradami FPS v roce 1992 a ve Spojených Státech přišla na řadu automatizace na začátku 90. let. První stupeň digitální transformace měl mít nejvýraznější vliv na papírové letové proužky a dostal název Advanced Automation System (AAS). AAS měl několik prototypů, a jedním z nich bylo pracoviště traťových řídících pod názvem Initial Sector Suite System (ISSS) [3]. V rámci ISSS měli být postupové tabule s papírovými proužky nahrazeny velkým elektronickým displejem, zobrazujícím záznamy o aktivních letech [3]. Řídící měli pracovat s letovými údaji a vydanými povoleními prostřednictvím klávesnice a trackballu (počítačové zařízení s kuličkou uprostřed podložky pro ovládání prsty či dlaní, podobné myši).

Obrázek č. 2 znázorňuje prototyp rozhraní systému ISSS, navržený v roce 1991 FAA (Federal Aviation Administration) [5]. Systém AAS nebyl později uveden do provozu a zůstal ve fázi prototypu, zatímco vývoj jiných systémů elektronických letových proužků nadále pokračoval. V Evropě došlo k pokroku trochu dříve a první stripless systém (stripless – bez proužků) byl uveden do provozu v roce 1992 ve vrchním oblastním středisku řízení Maastricht (Maastricht Upper Area Control Center) [6].

V roce 1999 byl na letišti Oslo Gardermoen otestován a později zaveden do provozu systém EFS [7].



Obrázek 2 - Prototyp segmentu AAS – ISSS [4]

Přechod na elektronickou metodu sledování zápisů povolení pokračoval v Evropě v roce 2006 zavedením do provozu systému stripless na oblastním středisku řízení (Area Control Center – ACC) v Ženevě. Poskytovatel letových navigačních služeb SkyGuide následně pokračoval implementací tohoto systému i do druhého ACC v Curychu v roce 2011 v rámci projektu Local Single Sky Implementation od Eurocontrol [8].

V roce 2022 byl zahájen provoz dalšího stripless systému s názvem 4-FLIGHT na ACC Reims a Marseille (Francie). Systém, vyvinutý spoluprací společnosti Thales a francouzským poskytovatelem letových navigačních služeb (Direction des Services de la navigation aerienné – DSNA), je sofistikovaný nástroj pro řízení letového provozu, který poskytuje řídicím přesné předpovědi 4D trajektorie letů, ještě více podporující bezpečnost a efektivitu. Jedná se takto o nejvyspělejší systém pro řízení letového provozu v Evropě a jeho implementace do všech ACC ve Francii se očekává do roku 2025 [9].



1.2 Systém ATC

Hlavními úkoly řídicích letového provozu jsou poskytování bezpečných rozestupů a zajišťování efektivního a plynulého toku letecké dopravy. Více podrobné činnosti řídicích shrnuje Německý poskytovatel letových navigačních služeb (Deutsche Flugsicherung – DFS) následujícími body [10]:

- Zabrána srážek letadel ve vzduchu a na provozních plochách letišť
- Bezpečné a spořádané odbavení provozu ve vzduchu a na letištích
- Poskytování rad a informací různého druhu (o provozu, o meteorologických podmínkách atd), užitečných pro bezpečné provedení letu
- Informování organizací a složek, odpovídajících za pátrání a záchranu v případě nouzových situací

Lety je možné rozdělit na řízené a neřízené vzhledem ke vzdušnému prostoru kde jsou provozovány. Nehledě na to, zda se jedná o let obchodní, vojenský či sportovní – bude mu poskytnuta služba, odpovídající klasifikaci prostoru, ve kterém se nachází a pravidlu prováděného letu. Hlavní službou, kterou ATCO poskytuje jsou rozestupy, které jsou primárním prostředkem bezpečnosti ve vzduchu, zabráňující srážkám. V prostoru neřízeném se neposkytuje služba řízení, ani se nezajišťují rozstupy. V prostoru řízeném bude poskytována služba odpovídat umístění řízené oblasti a pravidlům letu [11]. Více podrobné rozdělení vzdušných prostorů a jejich typy nejsou předmětem této práce, proto je zde uvedené pouze základní členění pro seznámení čtenáře s věcí. Vzdušný prostor každého státu je definován prostorem letové informační služby (Flight Information Region – FIR). Česká republika disponuje 1 FIR – FIR Praha. V rámci každého FIRu jsou poskytovány služby podle klasifikace a druhu vzdušného prostoru [12]. V prostoru řízených letišť, jakými jsou například Letiště Václava Havla (LKPR) ji poskytují letištní řídicí věže – Tower Control Service (TWR). Věžní řídicí zajišťují pořadí vzletů a přistání a udávají k tomu příslušná povolení [11]. Letadlům, provádějícím přiblížení nebo odlet jsou poskytovány služby řízení prostřednictvím přibližovacího stanoviště řízení – Approach Control Service (APP). Toto stanoviště kontroluje provoz v okolí letiště. Při odletech přebírají letadlo na spojení od věže po vzletu a poskytují letadlům dodatečné instrukce pro stoupání po odletové trase. Později po dostoupení na příslušnou hladinu předávají letadlo oblastnímu středisku řízení – Area Control Center (ACC). Při vstupu



letadla do oblasti, řízené stanovištěm Approach (APP), si řídící uspořádá letadla dle pořadí na přistání a dle provozní situace může udělit zkratku v příletové trase nebo nařídí změnu výšky či rychlosti. Až je letadlo usazené na finálním kurzu přiblížení, předá ho řídícímu věži (TWR ATCO) [11]. Mimo tyto letištní a přibližovací prostory poskytují v rámci řízených prostorů své služby oblastní střediska řízení – ACC. Říká se jim také „en-route control center“ – traťové středisko řízení. Toto středisko odbavuje lety ve vyšších hladinách a zajišťuje jim odpovídající rozestupy [11].

1.1.1 Pracoviště ATCO

Pracoviště řídicího letového provozu se skládá z dvou hlavních prvků, přispívající k vytvoření a zachování situačního povědomí. Prvním zařízením je situační zobrazení, sloužící k monitorování pohybu letadel v letovém sektoru. Řídící letového provozu na něm sleduje polohy letadel ve svém prostoru odpovědnosti, identifikuje je a udržuje přehled o jejich trajektoriích. Druhou nezbytnou součástí pracoviště řídicího jsou letové proužky - (FPS). Letové proužky bývají papírové formy, elektronické nebo jsou integrované do situačního zobrazení v případě systému stripless (bez-proužkový systém). FPS umožňují řídícímu zaznamenávat vydaná letová povolení, sledovat stav letadel a doplňují přehled o aktuální situaci v prostoru [10]. Více podrobné funkce a různé typy letových proužků a systémů zápisu povolení jsou popsány v dalších podkapitolách. Součástí pracoviště ATCO je mimo jiné radiokomunikační vybavení, sestávající ze sluchátek a mikrofону pro oboustrannou komunikaci s posádkami letadel. Nechybí ani interní komunikační systém pro spojení s ostatními řídicími stanovišti či jinými složkami ATC na konkrétním letišti [1]. Jako příklad je zde vhodné uvést situaci, kdy pilot dopravního letadla žádá vyšší letovou hladinu, než byla uvedena v letovém plánu, a řídící letového provozu by musel takové povolení nejdříve zkoordinovat s jiným stanovištěm ATCO, který má na starosti tento vyšší sektor letových hladin.

Obrázek č.3 znázorňuje stanoviště letištní služby řízení (TWR) na Letišti Praha. Toto stanoviště aktuálně využívá elektronické letové proužky (EFS), které jsou seřazené na digitální postupové tabuli v určitém pořadí na dolním monitoru. Horní monitor zobrazuje výstup z dvou radarů, sloužící ke sledování vzdušné situace kolem letiště a poskytování přehledu o letadlech na provozní ploše.



Obrázek 3 - Stanoviště TWR, LKPR [Foto autora]

Jak již bylo zmíněno v kapitole [1.1](#), dříve se k vydávání letových povolení na letištích využívali světelné signály. Návěstní svítilny, využívané pro vysílání těchto barevných signálů zůstali součástí pracoviště „věž“ i dodnes, nicméně dnes se využívají pro mimořádné vydávání povolení ke vzletu, přistání či vyčkávání letadlu, které ztratilo oboustranné spojení s ATC. Jak je vidět na obrázku č.3, levá obrazovka řídicího představuje souhrn aktuálních meteorologických podmínek na letišti, které řídicí využívá k poskytování informací posádkám letadel. Mezi tuto informaci patří aktuální směr a síla větru či dohlednost na dráze, aktuálně využívané pro vzlet a přistání. Pod levou obrazovkou s meteorologickými daty je vidět oficiální letecká mapa ICAO České republiky, kterou řídicí využívá jako nápomocný zdroj informací pro poskytování povolení letadlům, létajících za pravidel VFR. Tato navigační mapa obsahuje mimo jiné detailní informace o všech vzdušných prostorech ČR, hranicích oblastí FIRu a VFR navigačních bodech. V neposlední řadě je součástí pracoviště řídicího na věži výhled na provozní plochu letiště a vzletové a přistávací dráhy, které je důležité pro vizuální monitorování aktuálního stavu provozu na letišti.

Na obrázku č.4 je vidět pracoviště řídicích letového provozu na stanovišti přibližovací služby řízení (APP) Praha. Na daném stanovišti se využívá systém stripless, nově zavedený na začátku 2022. Dvě velké obrazovky, poskytující výnos vzdušné situace, tvoří výše popsané situační zobrazení. U daného typu zaznamenávání letových povolení mají letové proužky pouze informativní charakter, vkládání či aktualizace povolení se provádí myší na letadlovém štítku (label) zadáním příslušné hodnoty buď klávesnicí nebo výběrem ze seznamu.



Obrázek 4 - Stanoviště APP, LKPR [Foto autora]

1.1.2 Metody zápisu letových povolení

Tato podkapitola je zaměřená na popis různých metod zápisů letových povolení od papírových proužků po nejnovější systém stripless.

Letové proužky (FPS) mohou mít jak papírovou formu, tak i elektronickou. Každý FPS představuje jeden let a obsahuje klíčové informace a parametry daného letu, které jsou zobrazené buď na vytištěném proužku v příslušném držáku nebo na digitální obrazovce. Dle mnoha výzkumů mají FPS kromě svého hlavního úkolu plnit roli důležitého



nápomocného prostředku z kognitivního hlediska. Manuální interakce s FPS a neustálé zaznamenávání informací, a to jak tužkou obyčejnou či digitální v případě EFS, pomáhají vytvořit a zachovat situační povědomí o komplexní situaci ve vzdušném prostoru [13]. Z pohledu na letový proužek je možné zjistit aktuální výšku, rychlost, směr pohybujícího letadla vůči bodu na mapě (FIXu) či radionavigačnímu zařízení a jiné ne méně důležité parametry letů. Veškeré kognitivní benefity, které přináší FPS jsou předmětem dalších podkapitol.

Papírové FPS

Papírový letový proužek je tištěný kus papíru, který obsahuje shrnutí nejdůležitějších informací o každém letadle, získané z letového plánu daného letu. Každý papírový letový proužek se usazuje do barevného plastového držáku (strip holder), jehož barva nese určitý význam. Tyto držáky se dále umísťují do tzv. postupové tabule se svislými kolejemi po stranách. Díky těmto kolejím je možné držáky snadno v rámci tabule reorganizovat či posouvat. Jedna postupová tabule může mít několik sloupců s vertikálními kolejemi a obvykle se jeden sloupec používá pro všechna odlétávající letadla a druhý pro letadla přilétávající (v případě stanoviště APP). Z postupové tabule může řídicí proužek kdykoliv vyjmout, přidat na ně veškeré poznámky a znovu do tabule zařadit [10]. Poloha proužků v postupové tabuli je též velice důležitá – ATCO přibližovací služby řízení organizují své letové proužky dle pořadí letadel, směřujících na přiblížení. Věžní řídicí (TWR) přesouvají proužky dle pořadí letadel na přistání, mířících na vzlet či pojíždějících v pořadí na stání na provozní ploše [10]. Na obrázku č. 5 je znázorněná postupová tabule, obsahující 2 zóny (levá, pravá) pro přesouvání držáků dle potřeby řídicího. Každé stanoviště ATCO má stanovené vlastní rozřazení barev držáků a schválené postupy pro organizaci letových proužků v rámci postupové tabule. Na stanovišti „věž“ (TWR) může být postupová tabule rozdělená do zón dle polohy letadla na provozní ploše: „na stání“, „na pojezdové dráze“ a „na RWY“ (Runway – vzletová a přistávací dráha – VDP). Až se určitému letadlu vydá povolení ke vzletu a letadlo následně skutečně najede na RWY pro vzlet, přesune řídicí jeho proužek do zóny „na RWY“. Toto mu bude sloužit jako důležitá připomínka, že je dráha momentálně obsazená a žádnému prostředku nesmí být vydané povolení ke křížení, vstup či přistání. Správná a efektivní manipulace s proužky slouží jako kritická pomůcka pro zachování přehledu o aktuální situaci a poloze letadel [10].



Obrázek 5 - Postupová tabule s FPS [10]

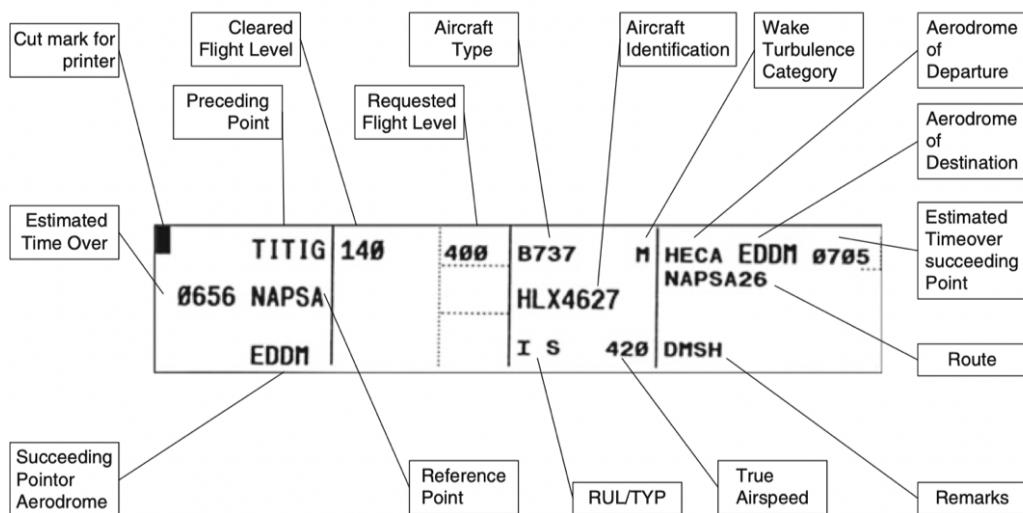
Jak již zmíněno výše, proužky jsou obvykle rozděleny dle barev svých držáků, což je dalším užitečným nástrojem pro budování situačního povědomí. Přibližovací služba řízení Praha (APP Praha) má stanovené 4 barvy plastových držáků: modrá, černá, červená a žlutá. Modrá barva je vyhrazena pro přílety a odlety letadel v severním sektoru – tzn. přes navigační body VENOX, GOLOP či ARTUP. Červená barva je stejným způsobem vyhrazena pro přílety a odlety v západním sektoru – přes body BALTU, LOMKI, DOBEN, APRAQ. Černá barva vyznačuje přílety či odlety z jižního sektoru – přes VLM¹ či VOZ². Žlutá barva vyznačuje všechny ostatní lety bez ohledu na sektor – včetně VFR příletů, odletů a přeletů, letů se změnou pravidel letu (VFR->IFR či opačně) apod.

Stejně jako barvy držáků či postupy organizace FPS, mohou mít i papírové proužky rozdílnou podobu v závislosti na stanovišti. Obrázek č. 6 je ukázkou toho, jak může vypadat papírový letový proužek na stanovišti APP a poskytuje detailní přehled o tom,

¹ VLM – Vlašim VOR

² VOZ – Vožice VOR

co znamená konkrétní políčko na daném proužku. Řídící během své práce s FPS neustále pracuje, zapisuje nově vydaná povolení a škrtná již neplatná. Obrázek č.6 popisuje každou část daného letového proužku.



Obrázek 6 - Příklad papírového FPS z APP [10]

Každá změna parametru letu (hladina, rychlost, směr, trať či jiná) musí být řádně zapsaná do letového proužku a předchozí povolení přeškrtnuto. Stanoviště v různých zemích mohou mít odlišný vzhled FPS, ale minimálně musí obsahovat následující základní informace o letu z letového plánu (FPL) [10]:

- Call sign – IDENT letadla, například CSA612
- Pravidla letu (VFR či IFR)
- Typ letadla – například B738
- Letová hladina či přidělená výška
- Cestovní rychlost v TAS
- Letiště odletu a cílové letiště
- Výchozí bod vstupu do prostoru řízení
- Vypočítaný čas příletu (ETA) do destinace (pro APP)

Po komunikaci s posádkou letadla zapíše řídící manuálně nově vydané povolení na letový proužek a tím je oficiálně zaznamenána změna u daného letu pro účely jeho dalšího řízení a koordinaci s ostatním provozem. ATCO se musí na každém stanovišti



držet přísně stanovených standardů zaznamenávání informací na proužky, aby nedocházelo k nedorozuměním a nebezpečným situacím. Nově přidělený kurz musí být řádně zaznamenán do políčka pro kurz a stejné pravidlo platí pro výšku, rychlost či jiný parametr. Při zaznamenání nového povolení se musí staré povolení zneplatnit přeškrtnutím. Tyto postupy zajišťují jednotnou úroveň efektivity a bezpečnosti provozu.

Na závěr je vhodné podotknout důležitý aspekt využívání papírových FPS – jejich fyzickou přítomnost v ruce řídícího. Papír je flexibilním prostředkem a interakce s ním má určitý význam z kognitivního hlediska. Jednou z takových výhod je například posílení krátkodobé paměti z důvodu fyzické manipulace [14]. Následující podkapitoly se věnují vlastnostem a charakteristikám FPS více podrobně.

Elektronické FPS

Produktivita a účinnost řízení letového provozu závisí mimo jiné na vybavení a zařízeních, které jsou dostupné ATCO. Instrukce a povolení, zapisované řídícími na papírové proužky nejsou automaticky přenášeny do počítačových systémů. Toto brání plnému využití automatizace, která by pomohla řídícím efektivněji a bezpečněji koordinovat provoz. Proto se papírové proužky postupně nahrazují jejich digitální podobou. Digitalizace proužků umožňuje řídícím zadávat povolení a pokyny zároveň i do centrálního systému ATC, čímž se informace automaticky zpřístupní více stanovištím a dalším složkám, jako například personálu handligových (odbavovacích) společností na letišti či operačním střediskům aerolinek.

Příkladem aktuálně využívaných systémů digitálních proužků jsou *StripTIC* a *DigiStrip* [15]. Obrázek č. 7 je ukázkou nového systému digitálních letových proužků. Řídící ovládá letové proužky digitálním perem a na prototypu z obrázku č.7 má před sebou 2 ploché obrazovky. Každá obrazovka obsahuje 3 zóny, které napodobují vzhled postupových tabulí s postranními kolejemi. Letové proužky jsou umísťovány do těchto zón, mezi kterými lze každý proužek libovolně několika způsoby přesouvat [15]:

- Umístěním pera na EFS a následným přetažením po obrazovce na cílové místo
- Kliknutím na zvolený EFS a poté kliknutím na cílové místo – proužek se přesune automaticky
- Posouváním EFS vertikálně v rámci zóny postupové tabule



Obrázek 7 – Příklad prototypu EFS systému na letišti Schiphol [15]

Tento systém umožňuje provádět na EFS veškeré změny, například aktualizovat dráhu vzletu, měnit první povolenou hladinu pro stoupání či jiné variabilní parametry, podléhající řízení letového provozu. Zůstala také možnost přidávat libovolné poznámky digitálním perem na elektronický proužek, stejně tak jako tužkou na papír. Cílem zavedení EFS bylo zachovat a zlepšit vlastnosti papírových proužků, přenést je do digitální podoby a tím posunout dopředu automatizaci v oblasti řízení letového provozu [15]. Bylo zjištěno, že vkládání nových povolení do elektronických proužků je časově víc náročné, rovněž se ale takový systém prokázal jako více efektivní z důvodu, že data jsou po vložení automaticky dostupné ostatním ATCO na stanovišti a dalším střediskům řízení (ACC) v rámci FIRu. EFS nabízí také více možností úprav či práce s proužky, než je tomu u papírové formy. K dispozici je více vizualizačních nástrojů – například proužek se může automaticky rozsvítit či zablikat nějakou barvou v případě detekce konfliktní situace nebo změnit svůj odstín pro indikaci, že daný proužek byl upraven jiným kolegou na stanovišti. Barvy určitých částí proužků je možné nakonfigurovat dle potřeby, aby snadněji upoutali pozornost v případě jakékoliv nestandardní situace či konfliktně vydaného povolení [16].



Digitální letové proužky poukazují na důležitý pokrok v bezpečnosti a efektivitě řízení letového provozu. Možnost elektronické koordinace a automatických výpočtů potenciálních událostí, vyplývajících z vydávaných povolení poskytuje nový základ pro bezpečnější předpovídání trajektorií letadel, sloužící jako zdroj pro bezpečnostní nástroje vyhledávání potenciálních konfliktů a jiných monitorovacích pomůcek pro ATCO [2]. Vzhledem k tomu, že řídicí pracuje se situačním zobrazením prostřednictvím myši, ale stále k tomu využívá elektronickou podobu tužky, jsou digitální letové proužky pouhým mezistupněm na cestě k plně integrovanému systému, který se ovládá pouze myší a klávesnicí [2].

Stripless systém

O několik let později byl zmíněný mezistupeň překonán a do některých oblastních středisek řízení byly zavedeny systémy stripless. Stripless systémy jsou novým přístupem k řízení letového provozu, ve kterém se papírové letové proužky nahrazují rozmístěním všech informací z papírových FPS do jedné velké obrazovky. Stripless znamená v překladu z anglického jazyka „bez proužků“. Jedná se doslova o systém bez letových proužků, používaných pro zaznamenávání povolení.

Ve stripless prostředí na ACC Geneva, kde byl tento systém poprvé uveden do provozu v roce 2006, jsou všechny informace o letech, dříve obsažené na FPS a EFS, integrovány přímo do obrazovky řídicího. Místo psaní a vyznačování informací tužkou a manuální organizace barevných držáků na postupových tabulích používá řídicí v rámci tohoto systému pouze myš a klávesnici. Na obrazovce řídicího jsou zobrazené všechny symboly pohybujících se letadel v prostoru, kde každé letadlo má svůj štítek (label) s veškerou informací o tomto letu. Všechna vydaná povolení a změny parametrů letu zadává řídicí kliknutím na štítek letadla a výběrem příslušné hodnoty ze seznamu. Zvolená hodnota se uloží do systému a letadlo bude mít takto přidělené nové povolení [17]. Na obrázku č. 8 je vidět, jak 2 ATCO na ACC Geneva sledují svoje obrazovky, do kterých je integrován koncept stripless. Pro koordinaci s ostatními ATCO na oblastním středisku se využívá sofistikované situační zobrazení, kde je možné změny u daného letu, jak navrhnout, tak i přijmout. Veškeré změny, provedené do labelů letadel v rámci prostředí stripless jsou v reálném čase sdíleny i na ostatních obrazovkách, což umožňuje všem řídicím na daném středisku mít dokonalý přehled o aktuálních povoleních.



Obrázek 8 - ACC Geneva, stripless [17]

System stripless je mimo jiné vybaven různými nástroji pro detekci a analýzu potenciálně nebezpečných situací a konfliktů mezi letadly. Příklady takových nástrojů jsou Horizontal Scanning Tool a Crossing Tool. Jedná se o komplexní systémy předpovídání nebezpečných sblížení letadel, nacházejících se ve stejné letové hladině. Může nastat situace, kdy dvě letadla poletí ve stejné letové hladině a po stejné trati za sebou různou rychlostí. System bude následně varovat řidičího, že na základě určitých vstupních podmínek (rychlost, hladina, kurz, poloha atd.) může dojít za určitý čas ke konfliktu mezi těmito letadly. Řidičí musí na to reagovat a zajistit letadlům bezpečný rozestup. Letadla se mohou také ve vysokých hladinách míjet pod libovolným úhlem, anebo nestandardně letět ve stejné hladině po stejné trati proti sobě. Tyto nástroje, integrované do moderních stripless systémů, neustále poskytují řidičím průběžné informace o nadcházejícím střetu a poskytují vizualizaci, za jakých podmínek změny trajektorie jednoho z letadel dojde k dodržení minimálních rozestupů [17].

Mezi další vybavení stripless systémů patří jiné monitorující pomůcky, které varují řidičího, pokud se letadlo odkloní laterálně či vertikálně od své stanovené a schválené trati. Tyto služby se nazývají Route Adherence Monitoring a Cleared Level Adherence Monitoring [17].

Na obrázku č.9 je znázorněn příklad varování, které se objeví jako výsledek predikce konfliktů dvou letadel za určitou dobu. Systém vyzve řídicího hláškou „Caution conflict, verify clearance“ k prověření vydaného povolení z důvodu blížícího se konfliktu [17].



Obrázek 9 - Výsledek vyhledávání konfliktní situace [17]

Jedním z mnoha systémů konceptu stripless je zavedený do provozu na ACC v Rakousku a následně i do všech stanišť přibližovací služby řízení – TopSky od Thales. Všechny informace o letech – tzn. radarová data z letových plánů se nyní zpracovávají ve hlavním výpočetním centru ve Vídni a výsledky poskytují velice přesné zobrazení aktuální situace na obrazovkách řídicích na staništích APP a TWR. Zavedením systému stripless TopSky se staly papírové letové proužky pro Rakousko zapomenutou minulostí [18]. Všechny informace a parametry letů se nyní zobrazují pouze na obrazovkách řídicích letového provozu a vydaná povolení se díky konceptu stripless zadávají myší přímo do labelu.

1.3 Práce s papírem vs. počítačem: Porovnání a vliv na kognitivní procesy

V minulých podkapitolách byly popsány typy zápisu letových povolení pro řídicích letového provozu. V případě papírových letových proužků pracuje člověk pochopitelně s papírovou podobou FPS, kdežto ostatní metody jakoukoliv interakci s papírem vylučují. S digitalizací se stává čím dál více běžným způsob práce s počítačovým systémem na obrazovce, ale papír nadále zůstává důležitou součástí mnoha profesionálních oborů a pracovních prostředí. Tato podkapitola je zaměřená na porovnání práce člověka



s papírem a s počítačovým systémem na obrazovce a popisuje, jak tyto dvě metody interakce s informačními médii ovlivňují kognitivní procesy. Je zde shrnuto, jak interakce s papírem a obrazovkou ovlivňuje naše schopnosti zpracovávat, vyhledávat a zaznamenávat informace.

S papírem se pracuje již dlouho a využívá se stále v mnoha oblastech. V architektuře se používá papír pro zobrazení půdorysů či technických výkresů, a i v řízení letového provozu se v některých zemích stále využívá papír pro sledování informací a parametrů letů. Dále se s těmito dokumenty neustále pracuje – člověk může určité důležité detaily, věty či změny v papírové dokumentaci zakroužkovat, podtrhnout, nebo jiným způsobem označit. Následně se tato důležitá informace mnohem snadněji dohledává a v určitých případech slouží jako jednodušší způsob vyznat se v předchozích změnách a aktuální situaci pro člověka zastupujícího na službu, co přebírá pracovní stanoviště po svém kolegovi [19]. Zjistilo se, že člověk věnuje svoji pozornost nejprve položkám, které jeho kolegové podtrhli, napsali větším písmem nebo dali do uvozovek či jinak zbarvili. I když je text na displeji často čitelnější, než ručně napsaný – může to být pro jednotlivce jednodušší psát nebo dělat určité poznámky na papíře, zejména při jiné souběžné činnosti nebo komunikaci s kolegy, jak je tomu v případě řídicího letového provozu [19]. Dalším aspektem práce s papírem v porovnání se zaznamenáváním dat do počítačového systému je flexibilita. V tomto kontextu představuje flexibilita papíru možnost vytvářet poznámky, symboly, písmena či značení jakéhokoliv typu, velikosti a stylu přizpůsobené potřebám dané činnosti [19]. Jako příklad je zde vhodné uvažovat o podobné situaci na stanovišti řídicího letového provozu: Po vzájemné komunikaci s posádkou jednoho z letadel se ATCO ocitne v situaci, kdy je nutné přidat tomuto letadlu speciální poznámku. Toto může nastat na základě zvláštního požadavku posádky o odklonění od trati či mimořádné události na palubě. V případě použití papírových letových proužků může tuto činnost provést tak, že poznámku vytvoří ručně určitým symbolem na daném proužku. Taková poznámka může mít různý tvar a velikost a bude vždy dohledatelná mezi ostatními letovými proužky. Naopak, v případě stripless systému je možnost přidání poznámky omezená na počet znaků a symbolů. Je pravděpodobné, že u stripless systému může být tato akce časově více náročná z důvodu kombinace používání myši a klávesnice než vytvoření poznámky tužkou na papíře.



Počítačový program, který uživatel ovládá při vykonávání určité práce dává na výběr omezený rozsah akcí, které se můžou provést. Uživateli se buď zobrazí seznam pro výběr nějaké hodnoty, anebo prázdné políčko pro zadávání textu. Mnohdy je počítačový systém v tomto omezující a umožňuje dokumentaci upravit pouze zvláštním způsobem a v určitém místě. V lékařství může zdravotnický personál uznat za vhodné přidat poznámku, čárku či něco zvýraznit jinde, než tomu dovolí počítačový program [19]. Počítačové systémy jsou navrženy tak, aby podporovali a pomáhali uživateli v jeho práci. Nehledě na to, je papír z určitého úhlu pohledu více flexibilní z hlediska vyhledávání a zaznamenávání důležitých informací [19]. Psaní na papír a psaní na klávesnici na počítači se liší také ve způsobu, jak člověk používá své tělo a jak interaguje s okolním prostředím. Nejvýraznějším rozdílem dvou prostředí je způsob vytváření textu a znaků. Při psaní perem nebo tužkou na papír dochází k ručnímu vytváření písemných znaků a při psaní na klávesnici se jedná o výběr hotových znaků, které se pouze objeví na obrazovce. Od toho se odvíjí způsob vnímání a zapamatování informací, která se zaznamenává. Podobně se liší i vnímání textu při čtení. Předpokládá se, že fyzická přítomnost a hmatatelná povaha papíru přispívá k účinnější vizualizaci a chápání napsaného textu [20]. Při psaní na papír tužkou nebo perem dostává jedinec taktilní kontakt s papírem. I když je psaní na papír pomalejší, informace se ukládá do paměti lépe díky fyzickému kontaktu s papírem. Uvádí se, že digitální psaní je spíše monotónnější a méně personalizovaný zážitek pro jedince než psaní na papír. Další studie navíc uvádí, že psaní na papír v porovnání s psaním na klávesnici způsobuje zvýšenou aktivaci oblastí mozku, odpovídajících za paměť a učení. Jak již zmíněno výše, psaní na papír dodává jedinečný haptický zážitek, o kterém se předpokládá, že to pro náš mozek usnadňuje ukládání nových informací [20].

Další studie z Japonska [21] uvádí, že způsob, kterým je informace zaznamenávána – psaním na papír anebo psaním na klávesnici ovlivňuje procesy zpětného získávání těchto informací, uložených v mozku. Tento zdroj navíc uvádí výsledky další studie, která ukázala, že studenti, kteří si během studia dělali poznámky ručně na papír dosahovali lepších výsledků při řešení testovacích otázek než ti, kteří si informace zaznamenávali do počítače. Profesor Kuniyoshi L. Sakai po dokončení svého výzkumu uvádí, že papír je ve skutečnosti ve srovnání s elektronickými dokumenty, digitálními metodami zobrazování a úpravami textu v komplexních pracovních prostředích užitečnější, protože obsahuje



více jedinečných prvků pro pevnější zapamatování informací. Z toho plyne, že informace psaná na papír ručně se lépe ukládá do naší paměti [21]. Rozdíl v interakci člověka s papírem a elektronickou obrazovkou spočívá i v jiných aspektech, jako například rychlost čtení, přesnost čtení a porozumění čtenému textu. Výsledkem několika studií se zjistilo, že čtení z obrazovky počítače může být v průměru 20 až 30 % pomalejší než čtení z papírového zdroje. Co se týče přesnosti čtení – byly výsledky většiny studií ve prospěch papírové formy dokumentace [22]. Další výzkumná práce uvádí, že rychlost a přesnost kontroly správnosti textu se značně zhoršuje, pokud je text prezentován na obrazovce. Přesností se zde rozumí schopnost čtenáře číst informaci správně a nedopouštět se čtenářských chyb [23]. Tato práce zároveň uvádí, že za okolností časového nátlaku bylo čtení, porozumění a učení se textu více efektivní při zobrazení informace na papíře. Tato studie následně dospěla k závěru, že interakce člověka s papírovými zdroji vede k lepšímu uchování informací a znalostí [23]. Papír a počítačová obrazovka mají pochopitelně různé fyzikální vlastnosti, které přímo ovlivňují vnímání, chápání a porozumění obsahu. Studie, provedená v Norsku v roce 2012 zjistila, že fyzické dotýkání se papíru, jeho uspořádání a přesouvání na pracovním místě a jiná interakce s papírovou dokumentací zlepšuje mentální reprezentaci o přečteném textu a pomáhá se v něm líp zorientovat. Je to proto, že čtení a fyzická interakce s papírem poskytuje časoprostorové značky, obzvláště je to důležité v dynamickém a komplexním pracovním prostředí, kde člověk vykonává několik funkcí souběžně [24].

I když se již postupně v mnoha oblastech, a to nejen v řízení letového provozu přechází na používání pouze elektronických systémů zobrazení, uchování, uspořádání a zaznamenávání dat, zůstává papírová forma dokumentace nadále nedílnou součástí našeho světa. Další kapitola navazuje na toto výzkumné porovnání využití papíru a počítačového displeje a pojednává o více konkrétních kognitivních procesech v kontextu tématu této diplomové práce – v řízení letového provozu.



1.4 Kognitivní procesy v řízení letového provozu

Základní stavební kameny systému ATC jsou dodržování bezpečných, předepsaných rozestupů mezi letadly a bezpečný posun letadel skrz, z či do určitého prostoru. Toto je obecné tvrzení vycházející z objektivního chápání funkce řízení letového provozu. Detaily práce řídících a jejich různé stanoviště byly již v minulých kapitole popsány a takto je následující část práce zaměřená na analýzu kognitivních procesů a situačního povědomí v řízení letového provozu.

Letový provoz je velice komplexní a dynamický systém, kde se změny v provozní situaci vyvíjejí a probíhají jak s, tak i bez účasti řídícího. V takto dynamickém systému musí ATCO umět optimálně rozdělit úkony dle priorit a ve vhodný okamžik udělat správné rozhodnutí. K tomu, aby se řídící zorientoval v prostoru své odpovědnosti a neztrácel kriticky důležité situační povědomí používá obrazovku s výnosem vzdušné situace, papírové či elektronické stripy, sluchátka s mikrofonom pro komunikaci a další pomocné varovné a informační systémy. Hlavní kognitivní procesy řídícího, vyplývající z užívání výše uvedených prostředků jsou vnímání, porozumění (chápání) a předvídaní událostí, změn stavů a poloh v prostoru letadel pro správné vyhodnocení celé provozní situace [25]. Tyto kognitivní fáze představují obecný pohled na věc. Jak již zmíněno, letový provoz je komplexním prostředím, kde s narůstajícím počtem okamžitých změn očividně zároveň narůstají i kognitivní požadavky na řídícího. Neustálé změny stavů a parametrů letů ve vzdušném prostoru vyžadují velkou úroveň soustředění a bleskovou reakci. Německá studie, provedená ve spolupráci s DFS formulovala nejpodstatnější požadavky na kognitivní schopnosti řídících do následujících 3 bodů -

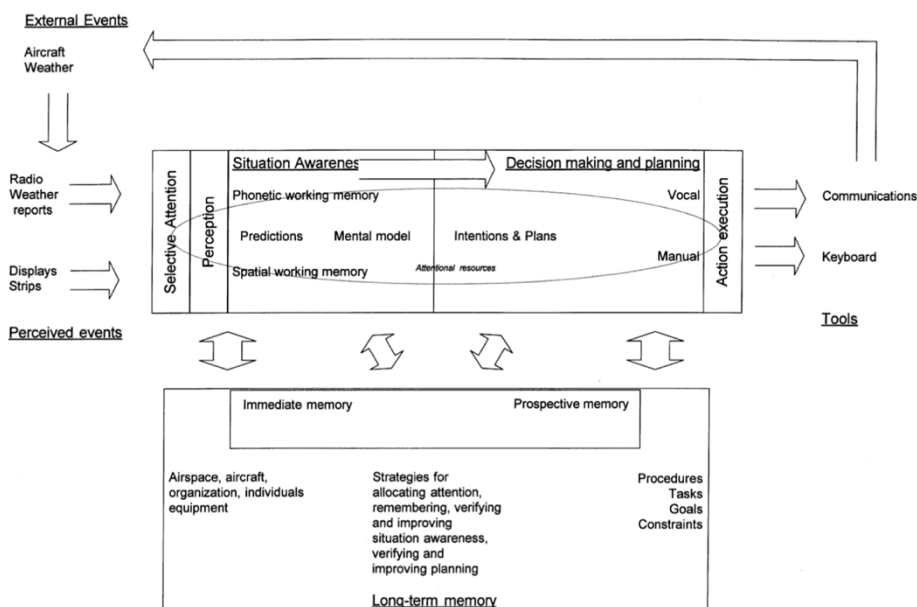
- Cyklická aktualizace měnících se vztahů mezi letadly pro vytvoření základu situačního povědomí
- Včasná predikce budoucích stavů za účelem odhalení rizikových vztahů mezi letadly v prostoru
- Stanovení přesné posloupnosti kognitivních procesů při plnění souběžných úkolů [25]

Wickens et.al (1997) přichází s podobným, ale o něco doplněným popisem kognitivních procesů, vytvářející mentální model řídícího letového provozu. Těmito procesy jsou:

selektivní pozornost, vnímání, situační povědomí, plánování, rozhodování a provádění akcí [26].

Obrázek č. 10 představuje komplexní schéma kognitivního modelu ATC, kam spadají důležité aspekty jako Situation awareness (situační povědomí) a Decision making and planning (Rozhodování a plánování).

Manuální činnosti a akce řídících (action execution) vycházejí především z posloupnosti kognitivních procesů, uvedené nad obrázkem č.10. Nicméně obsah těchto akcí – vydaná letová povolení, forma komunikace nebo způsob řízení letadel, vychází z předepsaných a naučených postupů (například – správný formát komunikace s posádkou, minimální rozestupy na základě turbulence v úplavu) atd. V dolní části obrázku č.10 je vidět, že každý z procesů čerpá ze znalostí, uložených v dlouhodobé paměti a každý z nich může tyto znalosti nadále upravovat či doplňovat. Do dlouhodobé paměti řídícího v rámci jeho práce patří strategie rozdělování pozornosti, způsoby zlepšení situačního povědomí či plánování, jakož to i znalosti konkrétních procedur, postupů a omezení, týkající se například povinných minimálních rozestupů [26].



Obrázek 10 - Schéma kognitivního modelu ATC [26]



Konkrétní akce jsou dále strategicky plánovány pro nasazení již na základě povědomí o aktuální provozní situaci v letovém prostoru a projekce této situace do budoucnosti. Na toto situační povědomí mají především vliv vnější okolnosti, jakými jsou například aktuální počasí, dostupné přehledové vybavení, kvalita komunikace (z hlediska mluveného jazyka či kvality přenosu zvuku) nebo obecně počet letadel k odbavení v rámci daného prostoru. Z obrázku č. 10 plyne, že externí události ovlivňují postup řízení jako první a fungují jako vstupní podmínky pro schéma kognitivních procesů. Výše uvedených 5 kognitivních činností nemusí ale tvořit stálou posloupnost. V určité fázi mohou být některé procesy vynechány nebo mezi sebou vzájemně prohozeny. Na obrázku č.10 je vidět, že vnímání (perception) a selektivní pozornost (selective attention) jsou prvotním základem pro situační povědomí, ze kterého si řidič vytvoří určitý plán dalších činností [26]. Za další externí faktory, ovlivňující kognitivní procesy řídicího, můžeme také považovat veškeré nouzové situace na letišti – například výpadky systémů, blokáce dráhy, neočekávaný vjezd letadla nebo jiného prostředku na dráhu a další. Okamžité vyskytnutí se jakékoliv náhlé změny či nové události představují pro řídicího bezprostředně nové informace, které musí být zpracovány [26]. Těmto informacím či událostem je kognitivně přidělena kategorie informačního kanálu. Takovou kategorií může být: vizuální změna na situačním zobrazení, nový proužek (či nový label na situačním zobrazení u stripless systému), varování o nové události či změně stavu objektu. Zkušený řidič ví, kam se podívat, co kde hledat nebo co si poslechnout při hledání kritické informace, když je nejvíc potřebná a dostupná [27].

Další studie, vydaná organizací EUROCONTROL [28], přichází s kognitivním modelem, který je rozdělen do 3 tzv. procesních skupin, shrnutých do tabulky č.1. Logika rozdělení kognitivních procesů v dané tabulce spočívá v tom, že každá skupina procesů navazuje na další procesy a vzájemně je propojuje. Dílčí proces aktualizace mentální představy situace probíhá neustále a tvoří základ pro situační povědomí. Klíčovou roli zde hraje také proces monitorování, který je součástí dílčího procesu aktualizace mentální představy. Ostatní procesy se navzájem proměňují pomocí hlavního kontrolního procesu, kterým je střídání pozornosti [28]. Toto znamená, že během neustálého monitorování celkové vzdušné situace, což je jedním z dílčích kognitivních procesů dle tabulky č.1, dochází podvědomě ke střídání pozornosti. Toto platí i pro kognitivní procesy během plnění různých úloh – při řešení vzniklé konfliktní situace musí řidič nadále



monitorovat i ostatní provoz, kde opět dochází ke střídání pozornosti. Proto je zde tento proces představený jako hlavní neboli kontrolní.

4 dílčích procesů	<ul style="list-style-type: none"> • Zachování situačního povědomí/aktualizace mentální představy situace • Prověřování • Vyhledávání konfliktních situací • Vydávání povolení
5 procesů při plnění úkolů	<ul style="list-style-type: none"> • Přebírání funkce/budování mentální představy situace • Řešení konfliktních situací • Monitorování aktuální situace • Spravování požadavků pilotů • Spravování provozních změn
1 kontrolní proces	<ul style="list-style-type: none"> • Střídání pozornosti

Tabulka 1 - Kognitivní model ATC od EUROCONTROL [28]

Příkladem souběžného využití celého modelu může být následující situace: ATCO právě předal 2 odlétávající letadla ze svého sektoru a čeká na další lety (monitorování/sledování). Po několika minutách 2 letadla navazují s ATCO prvotní spojení a řídicí zpracovává jejich požadavky, vydává povolení a při tom několikrát střídá pozornost mezi těmito letadly a dalším provozem. Při tom stále monitoruje celou situaci, ve vhodné chvíli prověřuje vydaná povolení a vyhledává možné konfliktní situace. Z tohoto plyne, že při neustálém plnění úkolů využívá řídicí souběžně 4 dílčí procesy. Kontrolní proces střídání pozornosti se využije pokaždé, když řídicí spravuje větší množství letadel v sektoru anebo koordinuje několik povolení najednou. Dittmann et al. (2000) uvádí, že práce ATC je o neustálém monitorování a sledování aktuální situace, vzniklých změn a událostí. Je to základem pro vytváření správné představy o aktuální provozní situaci, jinými slovy – situačního povědomí [28].



Další studie přichází se zvýrazněním jiného kognitivního procesu – ostražitosti, a označuje ho za kritický element celého systému řízení letového provozu [29]. Stejný zdroj také zdůrazňuje procesy rozhodování a sestavení plánu činností. Pro efektivnější plánování je základní kognitivní dovedností schopnost předvídat budoucí události a změny, jako například žádané změny trajektorie z důvodu nebezpečného počasí. Ve stejné studii se též uvádí, že někteří řídící si vypracovávají plán o budoucích možných změnách a událostech 2 až 3 minuty dopředu, a k určitým situacím mají rovnou i záložní plán činností pro lepší koordinaci. Tato flexibilita v plánování zlepšuje celkovou informovanost o provozní situaci a umožňuje takto lépe zvládat vysokou zátěž při řízení letového provozu v sektoru. Toto situační povědomí je podporované neustálým monitorováním či vizuálním skenováním obrazovky řídicího, což uvádí též Dittman et al. (2000)³.

V této kapitole zazněl hodně krát pojem situační povědomí (angl. situational awareness). Další podkapitola bude proto zaměřená na detailní rozbor tohoto důležitého pojmu v kontextu řízení letového provozu.

1.5 Situační povědomí

Letecký průmysl již dlouhá léta neúnavně rozvíjí své technologie a inovace, čímž posouvá hranice letectví dál a dál. S jeho vývojem stoupají mimo jiné i požadavky na počet odbavených letadel, které ATC řídí a koordinuje. Předchozí podkapitoly pojednávají o různých kognitivních činnostech řídicích – rozhodování, plánování, monitorování atd. Opakovat jejich souvislost není třeba, avšak zdůraznit a rozebrat kritický kognitivní element „situační povědomí“, je ovšem pro účely této práce nutné. Situační povědomí je kriticky důležitou součástí způsobů zpracování informací a má zásadní význam pro rozhodovací procesy. Získání a udržování odpovídající dané situaci úrovně SA je v dynamickém světě letectví nejdůležitější kvalitou, protože přímo ovlivňuje všechny činnosti a rozhodnutí, které se konají v rámci práce řídicího letového provozu [30].

³ [28]

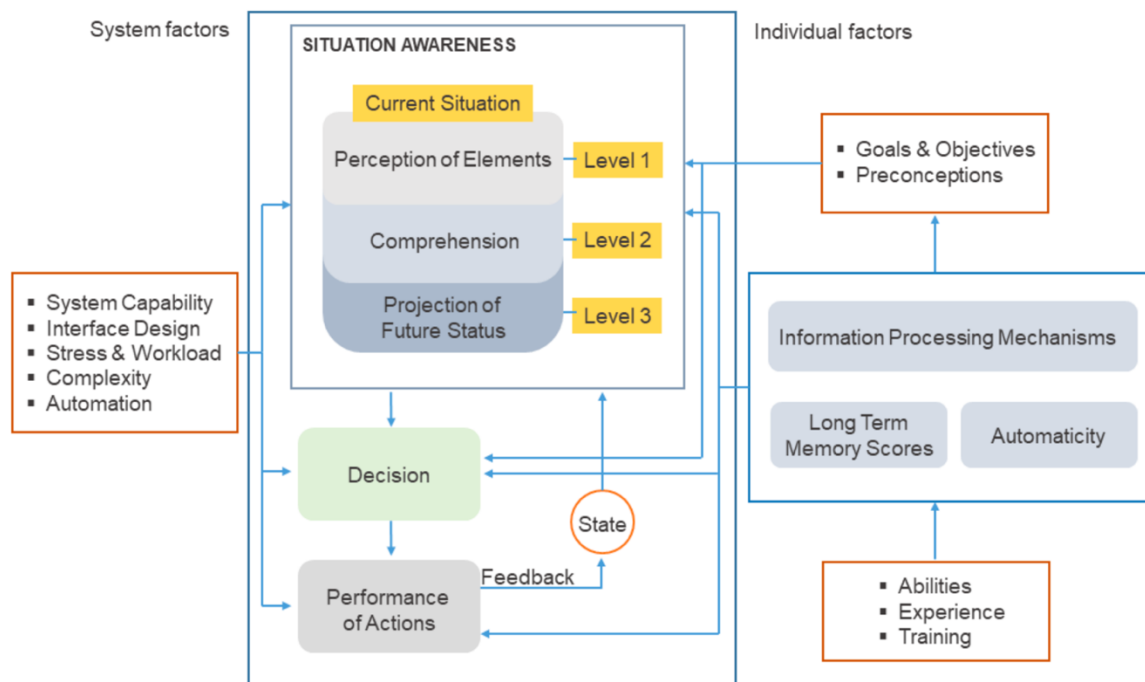


Dle předchozích kapitol je jasné, jaký význam nese získání a zachování SA v práci řídicího letového provozu. Nyní k podrobnému rozboru tohoto pojmu – jednoduše řečeno, mít situační povědomí znamená vědět, co se děje, anebo co se může dít. Pro řídicího letového provozu to znamená minimálně znát aktuální polohu letadel, důležité informace z letových plánů a předvídat budoucí stavy pro odhalení možných konfliktů [31]. Skutečné SA zahrnuje v sobě mnohem víc než jen znalost mnoha údajů. Vyžaduje mnohem pokročilejší úroveň porozumění situace a schopnost předvídání budoucích stavů systému. Jedná se o určitou úroveň soustředění, která přesahuje tradiční způsoby zpracovávání informací [32]. Potřebnost v SA vzniká v různých prostředích a profesích. Autorka studie z Texaské univerzity [32] popsala situační povědomí v kontextu více oborů, kde v každém případě se jednalo o provozování či řízení komplexního dynamického systému, vyžadujícího strategického plánování a rozhodování. Získání a zachování SA je však stále obtížnější s rostoucí komplexitou a dynamikou prostředí, což má přímou souvislost s prací řídicího. Při řízení letového provozu je mnohdy nutné provádět několik rozhodnutí za krátkou dobu a aktuální úkoly závisí na souběžné neustálé analýze celého prostředí. Vzhledem k neustálým změnám celkového stavu systému (v tomto kontextu – prostor odpovědnosti ATCO), primární částí všech úkolů řídicího je získání a udržení situačního povědomí [32]. Z tohoto povědomí se vytváří základ pro přijímání rozhodnutí (decision making), a toto tvrzení je již čtenáři známo z posloupnosti na obrázku č.10.

Primární definicí situačního povědomí je „*vnímání prvků v prostředí v určitém času a prostoru*“, „*porozumění jejich významu*“ a „*projekce jejich stavů do blízké budoucnosti*“ [33].

Obrázek č.11 představuje schéma prvků situačního povědomí. Dá se říct, že schéma je velice podobné tomu z obrázku č.10. Vlevo v oranžovém čtverci jsou shrnuty externí faktory či události, sloužící jako vstupní podmínky pro SA. Těmito faktory jsou: system capability – schopnosti systému (*funkce systémů ATC*), interface design – návrh rozhraní (*rozhraní systému FPS/EFS*), stress & workload (*stres a pracovní zátěž*) a complexity - složitost a automation - automatizace. Prostřední čtverec zobrazuje 3 úrovně SA, shrnující přesnou definici, která je uvedena nad obrázkem č.11. Šipky vedou dolů a dalšími kroky jsou *rozhodování* a *provedení akcí*. Zde opět pozorujeme podobnost se

schématem z obrázku č.10, kde po SA následuje „plánování, rozhodování a provedení činností“. Šipka, vedoucí zpět od šedého čtverce „provedení akcí“ je pojmenována jako *feedback – zpětná vazba* a pokračuje k oranžovému kroužku *state*, indikující celkový stav systému. Toto znamená, že po vykonání určité akce ze strany řídicího systém reaguje zpětnou vazbou, což poukazuje na obnovený stav celého systému.



Obrázek 11 - Schéma Situation Awareness [32]

Příklad: ATC vydá povolení letadlu letět kurzem 190°, letadlo namíří do zvoleného kurzu a výsledek se ukáže na obrazovce: rozhodnutí -> akce -> zpětná vazba -> nový stav systému. Na pravé straně schématu jsou zobrazeny tzv. individuální faktory, ovlivňující situační povědomí. Těmito faktory jsou: schopnosti, zkušenosti, výcvik a dále výše cíle a předsudky. Mezi tím je další čtverec, popisující individuální procesy, tvořící základ SA. Těmito základy jsou „mechanismy zpracování informací“ a „dlouhodobá paměť“. Tím je myšleno, že schopnosti získávání a udržování SA jsou u každého jedince různé a závisí na individuálních mechanismech zpracovávání informací, které jsou ovlivněné vrozenými schopnostmi, zkušenostmi a výcviky. Kromě toho, může mít jedinec vlastní cíle či předsudky, které mohou působit na vlastní interpretaci prostředí při vytváření situačního povědomí [32]. I zde se pozoruje analogie se schématem z obrázku č.10, kde jsou tyto individuální prvky zobrazeny v obdélníku v dolní části schématu. Ke ztrátě SA



dochází, když se mentální model (představa reality) začíná odchylovat od skutečnosti (reality) [33]. Toto znamená, že si řidičí nemusí ani hned uvědomit nadcházející nebezpečné situace, pro kterou vydal související povolení po ztrátě SA. Když nastane další událost, jedinec si všechny informace strukturuje do svého mentálního modelu situace. Dále pokračuje ve zpracovávání nových informací a doplňování své mentální představy, dokud nenastane situace, která vyvolá velice nepříjemný pocit uvědomění, že vytvořený mentální model aktuálního prostředí je defacto falešný. Toto je nejhorší situace, která může nastat pilotům, či řidičím letového provozu. Situační povědomí je proto nejkritičtějším parametrem efektivity a bezpečnosti letového provozu. Výsledkem velkého počtu vyšetřování leteckých nehod je právě ztráta situačního povědomí posádky letadla [29].

V leteckém průmyslu je školení pilotů, řidičích a instruktorů nezbytné doplňovat o nácvik získávání a udržování situačního povědomí a přijímání včasných rozhodnutí pro zachování jednotné úrovně bezpečnosti a předcházení incidentům a nehodám.

1.6 Porovnání metod zápisů letových povolení

Cílem této podkapitoly je představit shrnutí informací z řady studií, zabývajících se výzkumem výhod a nevýhod používání papírových letových proužků a elektronických typů zápisů letových povolení z kognitivního hlediska. První pokusy o zavádění elektronických systémů evidence letových plánů se často setkali s odmítáním ze strany pracovníků řízení letového provozu. Obvyklým důvodem bylo, že navrhované systémy špatně propojovali všechny úkoly práce řidičího nebo, že jejich výhody byly relativně malé oproti zvýšeným kognitivním požadavkům, které tyto elektronické systémy vyžadují [34].

Studie z roku 2000⁴ zkoumala přechod z papírových FPS na elektronické systémy proužků tak, že zjišťovala přímo od řidičích letového provozu ve Francii jejich názor na zavádění modernějších systémů. Ptali se na konkrétní výhody papírových proužku a všeobecně na roli papírových systémů v jejich práci. Dostali zpětnou vazbu i od

⁴ - [14]

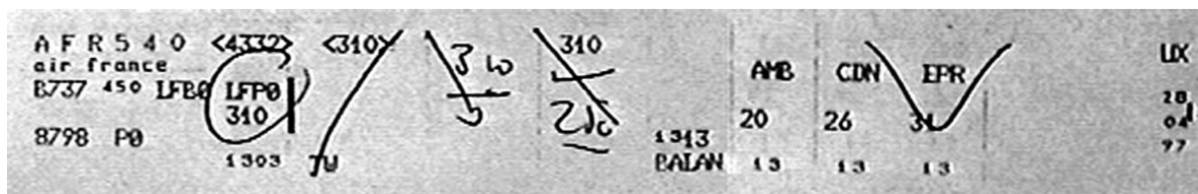


softwarových inženýrů, kteří se v období 80. a 90. let podíleli na vytváření digitalizovaných letových proužků. Zjistilo se, že technici rozdělovali důležité úkoly a odpovědnosti řídicího a snažili se propojit práci všech řídicích mezi sebou. Jejich návrhy změn spočívali spíše ve vzájemné koordinaci jednotlivých rolí na stanovišti než v podpoře zlepšování jednoduchosti souběžných činností jednoho řídicího, které mají velkou kognitivní náročnost při vykonávání služby. Zmínilo se, že tehdejší inženýři podceňovali významnost přítomnosti papíru na stanovišti, jelikož se domnívali, že papírové proužky jsou přínosné jen z hlediska informací, které jsou na nich vytištěné. Domnívali se, že přechod na digitální systém evidence FPS by měl vypadat tak, že pracovník ATC bude fungovat pouze jako provozovatel zadávání dat do systémů, aby se zvýšila přesnost detekce potenciálních konfliktů. Jenže práce s papírovými letovými proužky je o něco víc, než pouhé zadávání dat [14]. Jeden z inženýrů přišel tehdy s tvrzením, že papírové proužky jsou zastaralým systémem a, že se dávno musí přejít na modernější rozhraní. Uvádí se, že papír je historický artefakt, který lze nahradit buď digitalizovanou formou, nebo jeho úplným odstraněním ze stanoviště [14]. Říkalo se, že odstranění papírových proužků by zbavilo řídicích časově náročných činností, které je jen brzdí v pracovním výkonu. Stejná studie popisuje tvrzení tehdejších techniků, že nová rozhraní by obsahovala pouze informace z FPL a neexistoval by žádný funkční rozdíl mezi psaním na proužek a interakcí s obrazovkou počítače. Z pohledu skupiny odborníků kognitivní ergonomie to ovšem vůbec nebyla pravda. Tato skupina v rámci svého oboru definuje řízení letového provozu jako sérii kognitivních úkolů s určitými cíli a dílčími cíli. Řídicí při své práci vytvářejí mentální modely aktuální situace pomocí teorie kognitivní psychologie o rozhodování a analýze lidských chyb [14]. Autoři výše zmíněné studie tvrdí, že papírové proužky tvoří podstatnou část identity řídicího – hrají totiž důležitou roli jako fyzické objekty, symbolizující jinak neviditelná letadla ve vzduchu. První část výzkumu, spočívající v provozních dotazech na řídicí, skončila závěrem, že papírový systém letových proužků se ATC líbí mnohem víc. Papírové proužky se nemohou rozpadnout nebo neočekávaně přestat fungovat jako počítačový systém [14].

Jak již popsáno v kapitole [1.1.2](#), každý letový proužek představuje jeden let a jeho letový plán. Výnos vzdušné situace před očima řídicího slouží k identifikaci konkrétního cíle z papírového proužku, a tak vytváří kompletní pracovní prostředí pro sledování provozu a zaznamenávání informací o jeho změnách. Obrázek č. 12 je dalším příkladem

papírového proužku, představující let Air France 540. Je vidět, že se s proužkem hodně pracovalo – řídící si něm dělal různé poznámky, důležité informace kroužkoval a již neplatné údaje škrtil.

Jiný ATCO, obsazující vedlejší místo na stanovišti, dokáže takto efektivněji vyhodnotit aktuální situaci při rychlém náhledu na pracoviště svého kolegy [14]. Studie tímto zvyrazňuje důležitost papírových FPS a přítomnost možnosti zápisu změn v letovém plánu na papír na stanovišti řízení letového provozu.



Obrázek 12 - FPS Air France 540 [14]

Mnozí výzkumníci zdůrazňují význam papírových letových proužků. Uvádí se, že papír je mnohem flexibilnější a z kognitivního hlediska efektivnější. Práce s ním totiž využívá hmatovou (haptickou) a vizuální (ikonickou) paměť. Jednou z nejdůležitějších činností řídicího letového provozu je nepřetržité prohledávání a kontrola všech papírových letových proužků na postupové tabuli a následné porovnávání zhlédnutých informací se situací na obrazovce řídicího. Taková kontrola se provádí vždy bez ohledu na intenzitu provozu a zajišťuje, že ATCO bude zachovávat stejnou úroveň pozornosti za podmínek slabého provozu a následně nezapomene na žádné letadlo při řešení konfliktních situací v podmínkách vysoké zátěže. Účastníci studie poznamenali, že záměna postupové tabule elektronickým systémem s displejem jim tuto rutinu odstraní, což může mít za následek snadnější ztrátu pozornosti a situačního povědomí, vedoucí k dezorientaci za podmínek hustého provozu. Nové navrhované systémy digitální evidence letových povolení musí nejprve před nasazením prokázat, že zvýšené bezpečnostní riziko, vyplývající ze ztráty pozornosti při slabém provozu bude vyváženo zvýšenou bezpečností za podmínek velké zátěže [14]. Fyzické uspořádání papírových proužků v kombinaci s obrazovkou řídicího vytváří časový i prostorový základ pro plynou práci zajišťování přehledových služeb. Když na stanoviště dorazí nový letový plán automatickým vytištěním nového letového proužku, jeho vyjmutí z tiskárny a vložení do postupové tabule přinutí řídicího mentálně tento nový let zaregistrovat jako aktivní



v jeho sektoru odpovědnosti. Řídicí uvádí, že toto pomáhá vytvořit bohatší SA, které je pro tuto práci jedním z nejkritičtějších prvků. Zmiňuje se, že neustálé střídání oblasti pozornosti – mezi situačním zobrazením a pohledem na postupovou tabuli zaplněnou několika sloupky papírových proužků – vytváří pevnější a jasnější SA při řízení letového provozu [14]. Přítomnost papírového proužku dává řídicímu možnost rozhodnout se, jakou část své mentální reprezentace přeneseme na papír (v podobě kroužkování, poznámek či přesouvání a organizace držáků), a jakou část z toho udrží v paměti. Pokud nové systémy zobrazí příliš mnoho informací o jednom letadle na malé části displeje, kde se budou nacházet současně desítky letadel, zvýší se tím doba hledání, rozpoznávání cíle a čtení informací. Zvýší se též obtížnost interpretace aktuální situace, která má očividně kritický dopad na efektivitu a bezpečnost. Zároveň, pokud informací nebude dostatečně, mentální zátěž bude pro uchovávání v paměti více detailů stále narůstat, což může mít následný negativní dopad na bezpečnost provozu [14].

Jiná studie uvádí, že zvuk pracující tiskárny podvědomě varuje řídicího, že má očekávat další letadlo ve svém prostoru. S příchodem digitálních proužků tento aspekt situačního povědomí z pracoviště ATCO zmizel a nebyl ničím nahrazen. Systémy EFS totiž nevyžadují tiskárnu, jelikož se všechny nové proužky objeví na displejích řídicího automaticky [2]. Řídicí často berou držáky FPS do ruky jako připomínku, že se jim budou za chvíli věnovat. Reorganizace proužků a změna jejich pořadí v rámci postupové tabule dává pocit vlastnictví konkrétního letadla, ještě více posilující paměť a situační povědomí. Fyzický kontakt s FPS pomáhá mentálně zaregistrovat nové změny v provozu při poskytování služeb ŘLP [14].

Yves Guiard, kognitivní neurovědce z Národního centra vědeckého výzkumu (fr. Centre national de la recherche scientifique) přichází v roce 1987 s tzv. Teorií kinematického řetězce, která později dostala název *Guiardova teorie bimanuálních interakcí* [34]. Tento výzkum pojednává o každodenních činnostech, které lidé vykonávají za využití obou rukou. I toto má určitý význam v kontextu řízení letového provozu. V bimanuálních situacích (situace, kde jedinec používá obě ruce) má člověk tendenci používat jednu ruku pro vykonávání přesných činností, zatímco druhá ruka slouží jako „orientační vodítko“ pro ruku první. Vědci označují tyto dvě ruce jako *Dominantní ruku* a *Nedominantní ruku*. Pro praváka je jeho pravá ruka dominantní. Používání obou rukou v některých situacích může značně zkrátit dobu dokončení určitého úkolu. Guiard předpokládá, že dominantní

ruka se používá především k psaní a ukazování, zatímco ruka nedominantní se používá k umístění a organizaci [35]. Předpoklady Yves Guiarda se prokázali i v práci řídicího letového provozu. Typická sekvence práce řídicího vypadá totiž takto: nedominantní rukou se vybírá letový proužek pro jeho modifikaci, toutéž rukou se drží a dominantní rukou se na něm dělají poznámky. Při tom se řídicí podívá nahoru na situační zobrazení, prstem dominantní ruky pro lepší přehled letadlo z daného proužku identifikuje a pokračuje stejnou rukou dále v psaní. Někdy používají řídicí obě ruce při prohlížení postupové tabule. U jednoho proužku se pak zastaví a prstem dominantní ruky ho drží. Říká se tomu, že v situacích velké zátěže ATCO tímto způsobem „přemýšlí rukama“. Došlo se nakonec k závěru, že taková bimanuální práce je ve výsledku o 40 % časově méně náročná než práce s použitím jedné dominantní ruky. U systémů, kde se spoléhá především na práce dominantní ruky s myší, klávesnicí a monitorem hrozí, že práce bude pomalejší při vykonávání úkolů v porovnání se systémy vyžadující bimanuální interakci [14].



Obrázek 13 - Spolupráce dvou ATC na stanovišti [14]

Obrázek č.13 znázorňuje spolupráci dvou řídicích letového provozu. Je vidět, jak řídicí, sedící u stolu, organizuje držáky letových proužků pravou dominantní rukou, přičemž ale stále musí monitorovat provozní situaci na obrazovce před sebou. Další pracovník



stanoviště ATC přidává do postupové tabuli nový letový proužek a přitom používá obě ruce. Obrázek č.13 je příkladem bimanuální spolupráce dvou řídicích letového provozu.

Další studie ze Švédska ve svých závěrečných zprávách zdůrazňuje výše uvedené benefity přítomnosti papírových letových proužků v ATC především z důvodu jejich fyzikálních vlastností. Opět se uvádí, že nezaměnitelná užitečnost papírových proužků se skrývá v jejich informační bohatosti a flexibilitě [36]. Nicméně se názory některých řídicích z Kodani neshodují s výše uvedenými názory ze studie W.E. Mackay⁵ a uvádějí, že způsob práce s neustálou organizací letových proužků zabírá příliš mnoho času. Ve spolupráci s vědci z Lancasterové univerzity se ve [36] píše, že papírové proužky jsou z jednoho pohledu velice komplexním nástrojem, ale zároveň i velice užitečným. Několik řídicích potvrdilo, že považují papírové proužky za nejčastěji používané paměťové pomůcky především z důvodu neustále fyzické interakce s nimi. Ani toto nutně nevyklučuje potřebu přechodu na digitální systémy. Neustále zvyšující se množství provozu pomalu nutí ATCU přecházet na digitální systémy zápisu letových povolení [36].

Jiná studie naopak uvádí, že přechod z papírových proužků na elektronické není vůbec vzhledem k jedinečným kognitivním funkcím a vlastnostem papírových FPS triviální záležitostí. Papírové proužky obsahují zejména důležité komunikační funkce, umožňující neverbální výměnu provozních informací mezi řídicími na jednom stanovišti. Využití papíru přispívá také k lepší detekci potenciálních konfliktů. Řídící, který ručně přebírá nově vytištěný letový proužek a umísťuje ho do své postupové tabule aktivních letů podvědomě zpracovává informace o tomto letadle hlouběji do své paměti, protože přišel do fyzického styku s hmotným objektem, představující toto dané letadlo. Úkon umístění nového proužku do posloupnosti letů na postupové tabuli přinutí řídicího kognitivně propojit nová data s existujícími a tímto rozšířit vytvořené situační povědomí [37].

Národní laboratoř vzdušného a kosmického prostoru v Nizozemsku (National Aerospace Laboratory – NLR) provedla v roce 2011 výzkum zaměřený na efektivitu využití elektronického systému letových proužků – EFS [15]. Zjistilo se, že řídicí pracují s tímto systémem snadno a poměrně rychle. Někteří v rozhovorech poté uváděli, že používání

⁵ [14]



digitálního pera pro přemísťování a manipulaci s elektronickými proužky je změna, která vyžaduje větší vizuální pozornost a soustředění, než tomu bylo za využití papírových proužků. Dále se z pozorování při provádění experimentu zjistilo, že práce s EFS vede k nižší úrovni rušného hluku v prostředí stanoviště, což má výrazný dopad na lepší koncentraci pracovníků. Úkon předávání letových proužků (hand-over) mezi kolegy řídicího centra byl vyhodnocen jako snadnější a tišší proces, než je tomu u papírových proužků. Tento proces navíc zabírá méně času a nevede k dočasné ztrátě situačního povědomí, jelikož řídicí může zůstat na své pracovní pozici. Nicméně se zjistilo, že nové elektronické proužky zůstali delší dobu ve stavu „čekající na vyřízení“ bez zpracování, a řídicím trvalo v průměru 38 sekund, aby se jim začali věnovat. V případě papírových letových proužků se novým letům věnovali hned, jelikož je řídicí od kolegy ručně převzal a umístil do své postupové tabule [15].

Stejná studie uvádí, že řídicí pracující se systémem EFS vyhodnotili udržení mentálního obrazu o aktuální situaci hůře než v případě papírových proužků. Důvodem pro to bylo, že proužky zůstávali delší dobu nepovšimnuté, a proto informace o těchto letech nebyla integrovaná do celkového situačního povědomí řídicího [15]. Dalším zjištěním při využití EFS oproti papírových proužků byl nárůst tzv. „Head-down time“ (čas sklonění hlavy dolů). Tento termín definoval vědec Brian Hilburn ve svém výzkumu, kde popsal problém „Head-down time“ jako potenciální neschopnost pracovníka (zde řídicího letového provozu) optimálně rozdělit svoji pozornost mezi primárním zorným polem a pomocným nástrojem [38]. V případě ŘLP se jedná o obrazovku řídicího a displej s elektronickými letovými proužky. Výsledek tohoto experimentu takto prokázal, že v případě EFS dosahoval „Head-down time“ hodnoty přibližně 80 %, což má za následek zhoršení celkového situačního povědomí [17]. Ukázalo se, že po zavedení systému stripless se „head-down time“ významně zkrátilo a řídicí věnovali svoji pozornost výhradně situačnímu zobrazení. Za provozu stripless systémů je nyní kriticky důležité situační povědomí udržováno především soustředěním se na rozhraní obrazovky řídicího namísto neustálého sklánění hlavy dolů pro interakci s papírovými proužky [17].



1.7 Limitace současného stavu

Jak bylo zmíněno v předchozích podkapitolách, existuje několik způsobů zápisů letových povolení a zaznamenávání letových parametrů na stanovištích ATC. V mnoha zemích se po celém světě používají různé metody při poskytování služeb ŘLP – papírové proužky, elektronické proužky nebo stripless systémy. Jak je dále patrné z kapitoly [1.4](#) - kognitivní práci řídicího tvoří na 1. místě situační povědomí, které ATCO využívá při plánování a rozhodování o vykonání konkrétní změny či vydání určitého povolení.

Nicméně je dosavadní výzkum v této oblasti letecké dopravy omezený a nezaměřuje se na vědecké porovnání různých metod zápisu letových povolení z hlediska situačního povědomí. Studie, která by se zabývala zkoumáním, zda má přechod z využívání papírových FPS na stripless dopad na SA a efektivitu práce řídicích letového provozu nebyla nalezena.

Hlavním cílem této práce je provést analýzu metod zápisů letových povolení a posoudit jejich vliv na efektivitu řízení letového provozu. Záměr bude uskutečněn provedením a vyhodnocením výzkumu, na výstupu, kterého bude identifikován nejefektivnější způsob vydávání letových povolení při řízení letového provozu.



2. Metodika

Ze současného stavu poznání není jasné, jaký jednotlivý typ zápisu letových povolení má pozitivní vliv na SA a která metoda je proto pro řízení letového provozu efektivnější. Z tohoto důvodu byl navrhnout a proveden výzkumný experiment v rámci, kterého se měří SA jednotlivých subjektů při řízení letového provozu za využití 2 různých metod zápisu povolení – papírových FPS a systému stripless. Tato část práce je zaměřená na detailní popis průběhu experimentu a způsobu měření.

2.1 Simulátor ESCAPE Light na ČVUT

Základem celého experimentu je simulační prostředí řízení letového provozu ESCAPE Light, instalovaný v laboratoři ATM (Air Traffic Management) na Ústavu letecké dopravy, Fakulty dopravní ČVUT.

EUROCONTROL Simulation Capability and Platform Experimentation (ESCAPE) je sofistikovaná simulační platforma ATC, vyvinutá evropskou organizací EUROCONTROL pro výzkum, provozní ověřování a odborný výcvik. Hlavní funkcí je simulace řízení letového provozu, která se provádí pro následující účely:

- Návrhy letových cest a organizace vzdušných prostorů
- Hodnocení nových provozních koncepcí a nástrojů pro ATCO
- Předprovozní ověřování a zkoušky
- Výcvik řídících letového provozu
- Výzkum a vývoj systému ATM [39]

ESCAPE Light je zjednodušenou verzí komplexního prostředí ESCAPE, vytvořený pro provádění simulací ATC pro výukové potřeby a výzkumné projekty menšího rozsahu. Zprovoznění systému vyžaduje propojení dvou počítačů – jeden pro simulaci stanoviště řídicího letového provozu a druhý pro pozici pseudo-pilota. Úlohou pseudo-pilota je kompletní odbavení a ovládání veškerých letadel v rámci prostoru odpovědnosti daného ATCO, simulace sousedních stanovišť a komunikace s řídicím letového provozu jménem posádek letadel. Prostředí simulátoru na ÚLD je zabudováno do 2 místností, kde se v jedné nachází stanoviště ATCO a v druhé pracovna pseudo-pilota. Takové oddělení pracovišť předchází vzájemnému rušení a komunikaci mimo zřízeného virtuálního

komunikačního kanálu. ESCAPE Light nabízí nástroje pro ovládání veškerých parametrů, relevantních k aktuálnímu scénáři simulace práce ATC. ESCAPE Light umožňuje předem nakonfigurovat vzdušné prostory (použít existující nebo vytvořit na míru vlastní), zvolit typ služby řízení (ACC, TWR či APP) či vytvořit jednotlivé scénáře toku provozu dle aktuální potřeby simulace. Volitelným aspektem je též úroveň zátěže řídicího, definovaný počtem letadel v sektoru odpovědnosti.



Obrázek 14 - Stanoviště řídicího ESCAPE Light na ÚLD [Foto autora]

Obrázek č. 13 je ukázkou simulátoru ESCAPE Light na ÚLD ČVUT. Na stole je vidět postupová tabule, do níž jsou usazené držáky s papírovými proužky. Před sebou má řídicí situační zobrazení, kam je integrován systém zápisu povolení stripless. Nahoře má řídicí pro svůj přehled výstup z meteorologického radaru.

Systém ESCAPE Light je koncipován pouze jako stripless, kde řídicí zadává vydaná letová povolení přímo do labelu letadla. Zde je důležité podotknout, že systém ESCAPE Light nepředstavuje možnost pracovat s elektronickými proužky (EFS). Řídit letový provoz je možné také za pomoci papírových FPS, kdežto jakékoliv systémy obsahující elektronické proužky nejsou dostupnou funkcí simulátoru. Při využití papírových FPS v rámci simulace provozu popisovaném simulátoru, pracuje ATCO s proužky, umístěnými

do postupové tabule, a situační zobrazení používá výhradně ke sledování stavů letadel, nikoliv pro zápis povolení.



Obrázek 15 - Příklad labelu ve systému stripless [Foto autora]

Obrázek č.14 znázorňuje příklad informačního štítku (*label*) letadla na obrazovce řídicího. Label z obrázku č.14 je v daný okamžik neaktivní, protože řídicí nemá na labelu kurzor myši. Z labelu se vyčte volací znak letadla, přebírající stanoviště, povolená hladina pro klesání, typ letadla a následující povolený bod.



Obrázek 16 - Zápis povolení výšky [Foto autora]

Obrázek č. 15 ukazuje, jak vypadá zápis povolení v rámci systému stripless na simulátoru ESCAPE Light. Výběrem příslušné hodnoty ze seznamu se do systému zapíše vydané povolení – v daném případě se jedná o letovou hladinu (CFL – Cleared Flight level). Stejným způsobem se zapisuje povolení změn rychlosti či jiných parametrů letu.



2.2 Průběh experimentu

Jak již krátce zmíněno v úvodu této kapitoly, celý experiment je založen na měření situačního povědomí během řízení letového provozu na simulátoru ATC ESCAPE Light na ÚLD ČVUT. Experiment probíhá v simulovaném prostředí stanoviště přiblížovací služby řízení – APP Praha. Účastníci projektu jsou studenti FD ČVUT, kteří v rámci svého studia úspěšně absolvovali předmět „Simulátor ATC“. Jedná se o subjekty se středně pokročilou úrovní znalostí činnosti řízení letového provozu, kteří bezchybně ovládají simulátor ESCAPE Light a mají dostatečné zkušenosti se zaznamenáváním povolení na papírové FPS a do systému stripless. Každý ze subjektů, účastníci se experimentu, absolvuje celkem 2 měření, trvající přibližně 45-50 min. Během prvního měření používá subjekt papírové FPS – vydaná povolení se zapisují na proužky, které je též nutné manuálně organizovat v postupové tabuli dle pořadí přistávajících a vzlétajících letadel či typu letu. Během druhého cvičení používá účastník experimentu systém stripless, kde aktualizace povolení a veškeré informace o letu jsou plně integrované do situačního zobrazení. V průběhu každého cvičení je subjektům postupně měřeno jejich situační povědomí speciální metodou SAGAT. Podrobný popis této techniky je předmětem další podkapitoly. Mezi měřeními je každému účastníkovi poskytnutá přestávka cca 15-20 min, aby se eliminovalo zhoršení kvality výkonu z důvodu únavy.

Obě cvičení mají předem nastavený scénář, a tudíž se letadla neobjevují během simulace náhodně. Jedná se o komplexní simulaci provozu, obsahující přilétávající, odlétávající a přelétávající prostor letadla. Každé cvičení obsahuje stejný počet letadel a stejné je též i pořadí (časování), v jakém se objeví v prostoru. Liší se ale dráhou používání – v prvním měření se používá RWY 24, kdežto v druhém 06. V rámci simulace práce ATCO na stanovišti APP má subjekt během měření za úkol:

- Přebrat letadlo od předávajícího ATC (ať už se jedná o TWR či ACC), provést identifikaci a ověřit hladinu z SSR módu C
- U přilétávajícího provozu zajistit bezpečný a pokud možno kontinuální profil klesání s ohledem na jiný provoz a prostory odpovědnosti jiných stanovišť ATC
- U odlétávajícího provozu zajistit bezpečný a pokud možno kontinuální profil stoupání po odletové trati s ohledem na jiný provoz a prostory odpovědnosti



jiných stanovišť přebrat po vzletu od TWR a zajistit odlet po stanovené odletové trati a následně předat ACC

- Přelétávajícím letadlům zajistit bezpečný průlet prostorem odpovědnosti s ohledem na jiný provoz
- Vydávat zajištěná a bezpečná povolení, včas předávat letadla na řízení přebírajícímu stanovišti ATC v souladu s místními postupy pro přibližovací stanoviště APP Praha
- Provádět zápis vydaného povolení v souladu s metodikou stanoviště APP Praha pro vyplňování papírových letových proužků, nebo podle postupu pro zadávání letových povolení do systému stripless na stanovišti APP Praha
- Udržovat papírové FPS a postupovou tabuli ve správné konfiguraci dle aktuálně vydaných povolení a odpovídající vzdušné situaci
- Udržovat systém stripless aktuální podle vydaných povolení a v souladu s očekávanou trajektorií letu

Zde je důležité podotknout, že vzhledem k cíli práce není v rámci experimentu měřena ani hodnocena kvalita řízení letového provozu, ale primárně situační povědomí a samotná práce s proužky či labely (v případě systému stripless). Práce si klade za cíl změřit a vyhodnotit situační povědomí každého účastníka při řízení letového provozu a zaznamenávání povolení dvěma odlišnými způsoby (papírové FPS a stripless). Důležité je, aby každý účastník měl během celého měření trvale uspořádaný přehled o tom, co se děje v jeho vzdušném prostoru.

Každé cvičení začíná spuštěním stopek a „prázdnou obrazovkou“. V tomto kontextu výraz „prázdný“ znamená, že v prostoru odpovědnosti ATCO se nenachází žádné letadlo. Dále budou letadla přibývat do prostoru postupně – během prvních 10 minut bude ATCO kontaktován prvními 8 lety. Dále bude provoz postupně přibývat, čímž se bude zvyšovat celková zátěž celého experimentu. Celkový počet letadel, kterým je nutné poskytnout službu řízení během jednoho cyklu měření (45-50 min) je stanoveno na 26. Scénář znázorňuje běžné pracovní prostředí řídicího při narůstající zátěži a simuluje takto reálný provoz ve špičce. Cvičení je nastavené takovým způsobem, aby řídicí (v daném případě subjekt, účastníci se experimentu) zažil nadprůměrnou zátěž, aby se dalo vydedukovat, při které z užívaných metod zápisu povolení se v takové pracovním vytížení pracovalo efektivněji.



Tabulka č.2 uvádí seznam všech letů, zadaných do každého cvičení. U každého letadla je definován jeho volací znak (callsign/IDENT), typ a přebírající stanoviště spolu s jeho frekvencí. Letadla jsou v tabulce uvedené v pořadí, v jakém se objeví při každém měření. U letadel přilétávajících je přebírající stanoviště LKPR TWR či LKVO TWR, u letadel odlétávajících frekvence přebírajícího ACC záleží na sektoru, kam míří po vzletu.

Pro účely daného výzkumu jsou typy letadel v rámci cvičení nestandardními pro daného leteckého dopravce – neodpovídají realitě a volací znaky jsou též smyšlené. Například – flotila Ryanair sestává pouze z Boeingů, přičemž v daném cvičení je let RYR68 operovaný Gulfstream V. Jedná se o to, že subjekty, účastníci měření, mají povědomí o známých leteckých společnostech a jejich letadlech. Cílem toho je zabránit zkreslení výsledků měření situačního povědomí během řízení letového provozu předchozími znalostmi.

Ident letadla	Typ letadla	Přebírající stanoviště
D-ISGD	BE9L	LKPR TWR – 134,560
TVS 4457	B735	ACC WL 120,275
NTF 735	M600	LKPR TWR – 134,560
EZY 48	B733	LKPR TWR – 134,560
AEE 482	B763	LKPR TWR – 134,560
CEF 2605	PAY2	ACC TB – 127,350
NJE 44	C130J	LKVO TWR – 133,080
AUA711	F70	LKPR TWR – 134,560
SWR1499	B789	ACC WL 120,275



NYX425	SB20	LKPR TWR – 134,560
BEL34	B462	LKPR TWR – 134,560
KNIFE6	V22	ACC KV – 118,650
DLH906	MD82	ACC WL – 120,275
AFR254	C86A	LKPR TWR – 134,560
D-IBET	E55P	ACC NL – 127,825
NOZ52	SF50	LKPR TWR – 134,560
LOT5837	P180	ACC NL – 127,825
RYR68	GLF5	LKPR TWR – 134,560
IBE332	A359	LKPR TWR – 134,560
ABP932	SU95	ACC SL- 127,125
OK-MIT	C340	ACC MT – 119,374
EWG77	F100	LKPR TWR – 134,560
OK-MAG	C27J	ACC SL- 127,125
PRG340	EA50	ACC MT 119,375
RYR93	F900	LKPR TWR – 134,560
OK-JKT	B350	ACC WL – 120,275

Tabulka 2 - Seznam letů v rámci měření



2.3 SAGAT

Situační povědomí je považováno za kritický základ pro správné rozhodování v komplexních a dynamických systémech jako je řízení letového provozu. SA odráží míru, do jaké subjekt ví, co se děje v jeho prostředí a je výsledkem mentálních procesů zahrnujících pozornost, vnímání a paměť [40]. V rámci popisovaného experimentu se bude SA měřit pomocí techniky Situation Awareness Global Assessment Technique – SAGAT. SAGAT je objektivním nástrojem pro měření SA. SAGAT spočívá v periodickém, náhodně načasovaném zastavení provozu (v tomto případě provoz – simulace práce ATCO), během něhož jsou všechny obrazovky a vybavení dočasně vypnuty. V okamžik zastavení simulace je účastník vyzván k vyplnění dotazníku pro vyhodnocení jeho přehledu o aktuální situaci těsně před zmrazením simulace. Dotazy v rámci experimentu jsou zaměřené na zjištění, do jaké míry má subjekt povědomí o letadlech, jejich stavech, parametrech a polohách ve svém prostoru. Jsou koncipovány takovým způsobem, aby pokrývaly všechny 3 úrovně SA – „vnímání prvků v prostředí v určitém času a prostoru“, „porozumění jejich významu“ a „projekce jejich stavů do blízké budoucnosti“.

V rámci daného experimentu se provádí celkem 4 náhodné zastavení simulace provozu během jednoho cvičení – 4x při využití papírových FPS a 4x při využití systému stripless, kde po každém zastavení musí subjekt ihned vyplnit dotazník, obsahující relevantní dotazy k aktuálnímu stavu provozu. Hlavní výhodou techniky SAGAT je, že umožňuje získat objektivní a nezkreslený index situačního povědomí. SAGAT slouží k vyhodnocení SA určitého subjektu v širokém rozsahu prvků, důležitých pro konkrétní dynamický systém. Jedinou limitací této techniky je právě zmrazení simulace. Nicméně, jelikož jsou náhodná a pokrývají široké spektrum parametrů a detailů v otázkách, subjekt se na nadcházející dotazník nemůže mentálně připravit a bylo dokonce zjištěno, že tato zastavení nemají vliv na výkonnost měření [40].

Na platformě Google Forms byly vytvořeny 4 dotazníky, každý sestávající z 8 otázek. Každý subjekt musí tedy vyplnit celkem čtyři dotazníky v rámci každého ze dvou měření. Na další stránce je uveden seznam všech otázek, obsažených v každém dotazníku. Otázky jsou koncipovány tak, aby při každém zastavení simulace provozu byly subjekty dotazovány jen na letadla, která mají aktuálně na spojení a v prostoru odpovědnosti na



obrazovce. Proto je konec každé otázky variabilní – místo XXXX se doplní volací znak letadla dle času zastavení simulace.

1. Ve kterém sektoru se nachází letadlo XXXX?
 - 0–90
 - 90–180
 - 180–270
 - 270–360
2. V jaké vzdálenosti od LKPR se nachází letadlo XXXX?
 - 0–10nm
 - 10–20nm
 - 20–30nm
 - 30+nm
3. Uveďte volací znak 3 posledních letadel, se kterými jste komunikovali
4. Uveďte okamžitou letovou hladinu (Flight Level) letadla XXXX a XXXX
5. Uveďte typ letadla XXXX a XXXX
6. Uveďte sekvenci prvních 3 letadel v pořadí na přistání
7. Uveďte výstupní hladinu (Exit Flight Level) u letadel XXXX a XXXX
8. Uveďte název a frekvenci stanoviště, přebírající XXXX a XXXX

2.4 Zpracování a analýza dat

Každý vyplněný dotazník se ukládá na platformě Google Forms v podobě tabulky. Všechna měření byla nahrávána pomocí aplikace OBS Studio – pořizoval se záznam situačního zobrazení se zvukem pro následné vyhodnocení výsledků vyplněných dotazníků. Vyhodnocení odpovědí probíhá manuálně za pomoci přehrávání záznamů z měření a porovnání s odpověďmi v tabulkách. Po vyhodnocení správných odpovědí jsou získané body sečtené a převedeny do procentuální podoby, po čemž jsou výsledky exportované do tabulky .csv formátu. Pro statistickou analýzu a vizualizaci výsledků se používá programovací jazyk Python a jednotlivé knihovny pro práce s daty – Pandas, Numpy, Scipy, Seaborn a Matplotlib ve virtuálním prostředí Jupyter Notebook.



Jak již zmíněno v předchozích kapitolách, každý subjekt vyplnil celkem 4 dotazníky během každého ze dvou měření. To znamená, že na každou z 8 otázek odpověděl čtyřikrát během prvního experimentu za využití papírových proužků, a následně čtyřikrát během druhé části za využití systému stripless. Za správně zodpovězenou otázku se mu přidělí 1 bod a při uvedení částečně správné odpovědi (například subjekt uvedl u otázky č.4 správně pouze 1 okamžitou letovou hladinu) se přidělí 0.5 bodů. Zároveň je pro otázku č.4 – *Uvedte okamžitou letovou hladinu letadla XXXX a XXXX nastavena tolerance správné odpovědi ± 3 letové hladiny (3000 stop)*. Po sečtení přidělených bodů za každou otázku může účastník dostat bodové ohodnocení 0-4 bodů za 1 otázku u každého typu zápisu letových povolení. Situační povědomí bylo následně vyhodnoceno jako procento správných odpovědí na otázky – pokud účastník dostal 3 body z možných 4 za jednu otázku – jeho skóre se rovná 75 %. Obdobně, pokud z 4 dotazníků dostal za jednu otázku v součtu 2,5/4 bodů, jeho procentuální ohodnocení je 62,5 %. Cílem je zjistit, zda je situační povědomí vyšší v případě využití systému stripless v porovnání s papírovými FPS.

Pro zobrazení výsledků naměřených dat byl vybrán statistický nástroj boxplot. Boxplot je jedním z nástrojů pro vizualizaci jednorozměrných dat, přehledně zobrazující základní statistické údaje o datovém souboru. Pro každou otázku bude vytvořen vlastní boxplot (celkem bude na výstupu 8 boxplotů pro experiment využívající systém papírových proužků a 8 pro systém stripless). Jeden boxplot bude reprezentovat distribuci odpovědí na jednotlivou otázku od všech 15 subjektů a u každého diagramu bude uvedena střední hodnota správných odpovědí μ a rozptyl σ^2 . Každý boxplot bude obsahovat dataset z 15 prvků, každý o hodnotě od 0 do 100 %. Tato statistická metoda byla vybrána především pro zobrazení variability datového souboru. Střední hodnota, zakreslená do každého krabicového diagramu bude základem pro posouzení, u kterého typu zápisu letových povolení bylo víc správných odpovědí na každou otázku. Vizualizace dat bude sloužit jako opora pro zodpovězení otázky, jaká metoda zápisu letových povolení je v souvislosti s SA nejefektivnější na základě procent správných odpovědí na otázky, zaměřené na situační povědomí.

Naměřená data jsou v rámci analýzy výsledků také otestována statisticky. Jelikož se v rámci experimentu zkoumá vliv 2 různých typů řízení na jeden klíčový parametr u



stejných subjektů, musí se nejdříve prokázat, že se tyto 2 soubory dat od sebe statisticky liší. V případě této práce je tedy nutné zjistit, zda skutečně dochází k rozdílu v průměrech správných odpovědí mezi 2 metodami zápisu letových povolení pomocí statistického testu. Pro daný účel byl vybrán *párový T-test*.

Párový t-test porovnává 2 datové množiny, získané od stejných subjektů, které byly podrobeny dvou měřeními a používá se k porovnávání středních hodnot dvou výběrů vzorků. Daný test je zaměřen na testování statistické hypotézy, že rozdíl středních hodnot dvou množin (zde: dvou množin výsledků měření SA) je nulový. Proti nulové hypotéze je postavená hypotéza alternativní, která v daném případě představuje skutečnost, že ve středních hodnotách 2 skupin dat je zásadní rozdíl, svědčící o statistické významnosti celého experimentu [41].

Nulová hypotéza je popisována následujícím způsobem – kde μ je střední hodnotou datového souboru. V daném případě se jedná o porovnání středních hodnot dvou množin: *ps* – *paper strips* (papírové proužky) a *st* – *striplless* (systém stripless) [41].

$$H_0 : \mu_{ps} = \mu_{st}$$

(1)

Nulová hypotéza tedy vyjadřuje, že mezi testovanými daty neexistuje žádný rozdíl [41].

Alternativní hypotéza popírá platnost H_0 a svědčí o existenci závislosti mezi množinami dat [41].

$$H_A : \mu_{ps} \neq \mu_{st}$$

(2)

Dalším krokem při provedení daného statistického testu je určení jeho hladiny významnosti - α . Hladina významnosti je přepokládaná pravděpodobnost, že nulová hypotéza bude zamítnutá, v případě, že aktuálně platí. Jinými slovy – je to určitá pravděpodobnost, že mezi datovými soubory existuje statistický rozdíl, když defacto platí nulová hypotéza – tedy, že žádný rozdíl mezi množinami neexistuje. Pro daný



experiment se hladina významnosti α stanovuje na 0,05 (5 %), což odpovídá standardu pro statistické testování [42].

Výsledkem párového t-testu je tzv. *p-value*, neboli *p-hodnota*, která se porovnává s hladinou významnosti. Rozhodnutí o zamítnutí či přijetí nulové hypotézy se přijímá na základě následujícího pravidla [42] -

p hodnota < α : Nulová hypotéza se zamítá ve prospěch H_A

(3)

p hodnota > α : Nulová hypotéza se nezamítá, a je platná

(4)

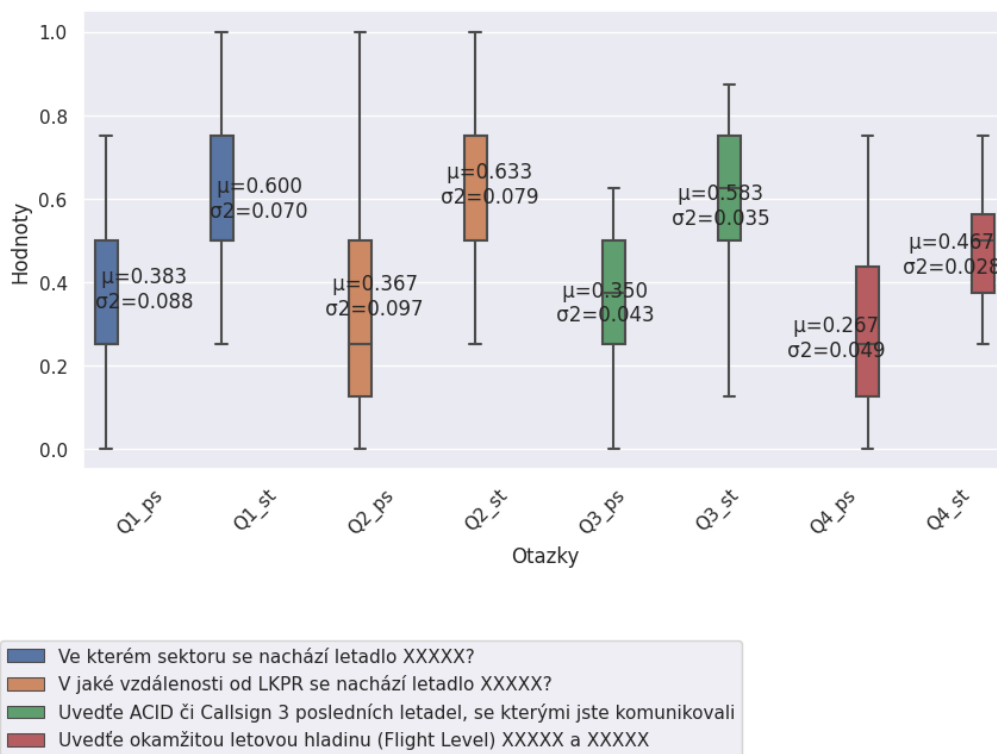
Čím nižší hodnotu má hladina významnosti, tím je porovnání dvou skupin dat více přísné a zamítnutí hypotézy, že jsou data stejné, více obtížné. Pokud výsledná p-hodnota je menší než hladina významnosti, tj. $p < 0,05$ – nulová hypotéza se zamítá se závěrem, že 2 datové soubory mají statisticky významný rozdíl [42].

V případě konaného experimentu v rámci této diplomové práce se porovnávají 2 datové množiny – výsledky měření SA za využití papírových proužků a stripless systému. Jelikož experiment sestává z 8 otázek, odpovídajících 3 úrovním situačního povědomí, bude párový t-test proveden osmkrát, aby se porovnaly všechny datové množiny z provedených měření.

3. Výsledky

Po vyhodnocení všech odpovědí na otázky z dotazníků, byla data nejdřív statisticky otestována pomocí párového t-testu a následně byly pro každé měření vytvořeny boxploty, popsané v kapitole [2.4](#).

Obrázek č. 16 znázorňuje boxploty pro první 4 otázky a hodnoty μ a σ^2 pro každý krabicový diagram. Každému typu měření náleží vlastní krabicový diagram – tudíž 2 boxploty na 1 otázku. Na ose x „Otázky“ obrázku č.16 jsou uvedené zkratky, označující číslo otázky a způsob provedení měření – Q1_Ps – Question 1, paper strips (otázka č.1, papírové proužky). Q1_St = otázka č.1, stripless. Osa y s označením „Hodnoty“ uvádí hodnoty od 0-1 (0-100 %) pro zobrazení distribuce správných odpovědí na otázky. Pro každou otázku jsou vytvořené 2 boxploty. Každá otázka má svoji barvu, dle které lze identifikovat její znění dle níže uvedené legendy pod grafem. První boxplot každé otázky je souhrnným výsledkem měření SA, v rámci, kterého zápis povolení probíhal za využití papírových FPS. Druhým boxplotem u každé otázky je výsledek měření za využití systému stripless.



Obrázek 17 - Boxploty pro otázky 1-4 [Foto autora]

Na daném grafu (obrázek č.16) je vidět, že výsledky měření, probíhající za pomoci systému stripless mají větší střední hodnotu u každé otázky.

Statistický test spočítal následující p-hodnoty pro první 4 otázky –

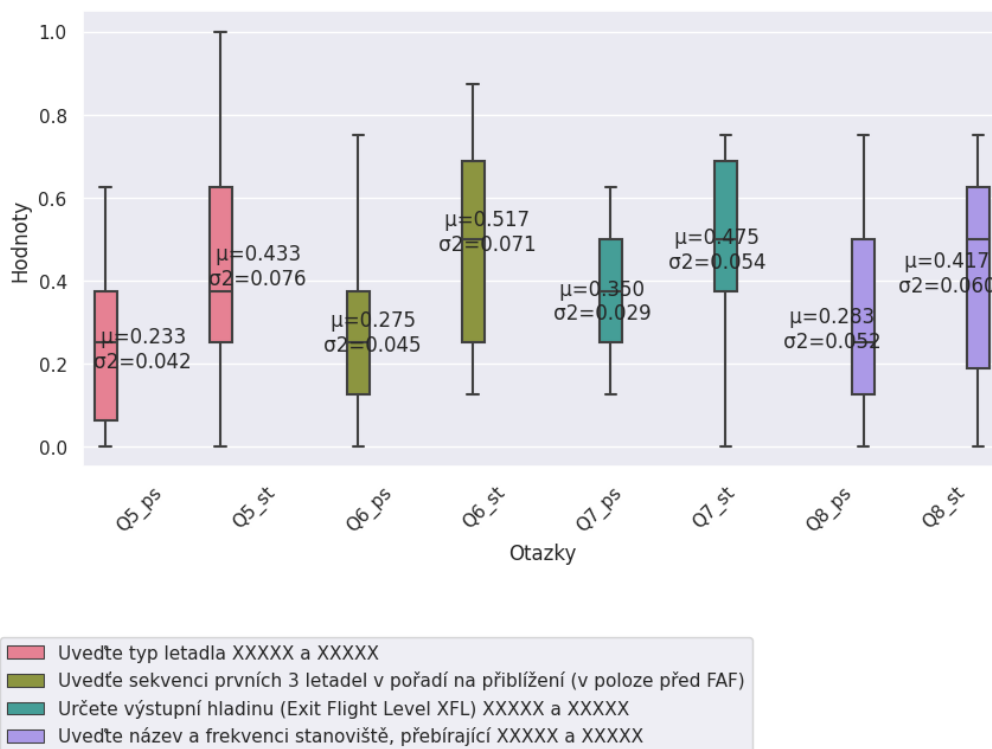
$$Q1: p = 0,02668, \alpha = 0,05$$

$$Q2: p = 0,04807, \alpha = 0,05$$

$$Q3: p = 0,00907, \alpha = 0,05$$

$$Q4: p = 0,0326, \alpha = 0,05$$

Provedený párový t-test ukázal, že u všech 4 otázek mají testované skupiny výsledků výzkumu významný statistický rozdíl. Toto znamená, že zkoumané metody zápisu letových povolení mají skutečně odlišný vliv na SA, a díky tomu lze tyto výsledky používat pro vyhodnocení provedeného experimentu.



Obrázek 18 - Boxploty pro otázky 5-8 [Foto autora]



Obrázek č.17 uvádí boxploty pro otázky č.5 až 8. Podobným způsobem je u každého boxplotu uvedena střední hodnota μ a rozptyl σ^2 . Ke každému grafu je přidána legenda, popisující barevný význam každého krabicového diagramu pro jednodušší interpretaci.

Statistický test spočítal následující p-hodnoty pro otázky 4, 5, 6, 7 a 8 –

$$Q5: p = 0,04386, \alpha = 0,05$$

$$Q6: p = 0,000926, \alpha = 0,05$$

$$Q7: p = 0,02620, \alpha = 0,05$$

$$Q8: p = 0,040568, \alpha = 0,05$$

Provedený párový t-test ukázal, že u všech 4 otázek mají testované skupiny výsledků významný statistický rozdíl. Vypočtená p-hodnota u každého z 8 testů je menší než hladina významnosti: $p \text{ hodnota} < \alpha$, proto se nulová hypotéza zamítá u všech 8 otázek.

Z grafů na obrázcích č. 16 a 17 je možné pozorovat, že u každé otázky je úroveň situačního povědomí vyšší v případě práce se systémem stripless. Toto pozorování je klíčovým výstupem daného experimentu.



4. Diskuse

Výsledky dotazníkového šetření v rámci měření situačního povědomí byly převedeny do procentuálních hodnocení a představeny pomocí krabicových diagramů na obrázcích č.16 a 17. Provedena byla též statistická analýza množin odpovědí pomocí párového t-testu. Výsledkem tohoto testu bylo nalezení významných statistických rozdílů mezi oběma soubory dat u každé otázky. Toto znamená, že výsledky provedeného experimentu ukazují na to, že různé způsoby zápisu letových povolení mají nepochybný vliv na situační povědomí řídicího letového provozu.

Z grafů krabicových diagramů na obrázcích č. 16 a 17 je patrné, že odpovědi subjektů při experimentech, konaných se zápisem letových povolení pomocí systému stripless mají mnohem vyšší střední hodnotu u každé z 8 otázek. Tato skutečnost vypovídá o větším počtu správně zodpovězených otázek, které jsou přímo zaměřené na vyhodnocení skutečné úrovně situačního povědomí účastníků experimentů. Vychází se zde z jednoduché logiky – čím více správných odpovědí poskytl daný subjekt v určité fázi měření, tím lépe rozumí aktuální vzdušné situaci a tím efektivněji a bezpečněji dokáže řídit letový provoz ve svém sektoru odpovědnosti. Zde je důležité připomenout, že všechny otázky byly vytvořené na základě vědecké definice pojmu „situační povědomí“ a celkově odráží 3 klíčové úrovně tohoto pojmu – vnímání prvků v prostředí v určitém času a prostoru, porozumění jejich významu a projekce jejich stavů do blízké budoucnosti. Jako „prvky“ se zde rozumí jednotlivá letadla, kterým ATC vydává vhodná povolení.

U 7 z 8 otázek při měřeních s využitím papírových proužků dosahují krabicové diagramy dolního extrému – nulové hodnoty (0 %), což znamená, že u dané otázky bylo minimálně u jednoho ze subjektů zaznamenáno hodnocení 0 %. V případě systému stripless se takový výsledek objevil pouze u 3 z 8 otázek. Z hlediska statistiky to znamená, že v 87,5 % případech (u 7 z 8 otázek) bylo dosaženo nulového hodnocení aspoň jednou při práci s papírovým systémem zaznamenávání letových povolení. Na opačnou stranu během využití stripless systému – pouze v 37,5 % případech (u 3 z 8 otázek) nebyla zaznamenána ani jedna správná odpověď u jednoho z účastníků. Opět je zde vidět, že celková úroveň informovanosti o aktuálním provozu a je vyšší v případě práce s využitím stripless systému.



Horní extrém (100 %) byl zaznamenán u 3 otázek (otázky č.1, 2 a 5) při využití systému stripless, u papírových letových proužků bylo takového výsledku dosaženo jen jednou (u otázky č.2). Toto znamená, že v případě výše uvedených otázek dosáhl aspoň jeden z účastníků experimentu maximálního hodnocení. Pro snazší porovnání je vhodné si toto opět převést do procentuální podoby – v 37,5 % případech při využití systému stripless získal minimálně jeden účastník nejvyšší počet bodů, a v případě práce s papírovými proužky toto se stalo pouze v 12,5 % případech (u 1 z 8 otázek).

Pokud se znovu zaměříme na celkové výsledky, nejvyšší střední hodnoty správných odpovědí lze pozorovat u prvních 3 otázek, kde se využíval systém stripless -

1. Ve kterém sektoru se nachází letadlo XXXX? - 60 %
2. V jaké vzdálenosti od LKPR se nachází letadlo XXXX? - 63,3 %
3. Uvedte volací znak 3 posledních letadel, se kterými jste komunicovali - 58,3 %

Podobně vysokého hodnocení bylo dosaženo u otázky „Uvedte sekvenci prvních 3 letadel v pořadí na přistání“, kde se průměr správných odpovědí rovná 52 %. Nejvíce správných odpovědí u měření s využitím papírových proužků pro zápis povolení bylo dosaženo u následujících otázek:

1. Ve kterém sektoru se nachází letadlo XXXX? - 38,3 %,
2. V jaké vzdálenosti od LKPR se nachází letadlo XXXX? - 36,7 %
3. Uvedte volací znak 3 posledních letadel, se kterými jste komunicovali - 35%
7. Uvedte výstupní hladinu (Exit Flight Level) u letadel XXXX a XXXX - 35 %

První 3 otázky mají největší střední hodnotu správných odpovědí v porovnání s ostatními otázkami, a to jak v případě využití papírových proužků, tak i v případě systému stripless. Takový výsledek ukazuje na to, že dotazovaná informace v těchto otázkách je velice důležitá, a proto byla účastníky při provedení experimentu vnímaná nejvíce. Úkolem prvních 2 otázek je uvést polohu jednotlivých letadel a 3. otázka se ptá řídicího na poslední 3 letadla, se kterými komunicoval. Je vidět, že situační povědomí z hlediska znalostí všech letadel na svém situačním zobrazení je v obou případech měření relativně vysoké. Účastníci experimentů si též velice dobře uvědomovali, se kterými letadly byly před chvílí na spojení. Tato informace se projevila též jako důležitá, jelikož se relativně snadno ukládala řídicím do krátkodobé paměti, na co ukazují představené výsledky.



Z pohledu na krabicové diagramy lze také zhodnotit distribuci odpovědí na otázky. Těla boxplotů, která jsou vymezeny dolním a horním kvantilem, se v případě zápisu letových povolení pomocí systému stripless nachází na ose y na vyšší úrovni oproti druhému boxplotu zobrazující papírový zápis u každé otázky. To ještě jednou ukazuje na to, že datové množiny jsou od sebe odlišné. Na základě těchto pozorování je možné bezpochyby stanovit, že systém zápisu povolení stripless je z dvou zkoumaných metod efektivnější. Účastníci experimentu při práci s konceptem stripless měli lepší přehled o aktuální situaci, o vydaných povoleních a letadlech v jejich sektoru odpovědnosti.

Po ukončení experimentu a úspěšném změření všech 15 subjektů byla možnost navštívit stanoviště TWR a APP na Letišti Praha a pohovořit s řídicími letového provozu při jejich práci. Na „věži“ (TWR) se přešlo z papíru na elektronické letové proužky před 8 lety, a bylo zjištěno, že některým řídicím papírová forma zápisu výrazně chybí. Uváděli takové výhody papírových FPS jako flexibilita, fyzická hmatatelnost a možnost libovolné manipulace s držáky. Přejít na novější systém byl velice náročný, obzvláště pro lidi starší generace, kteří jsou zvyklí více než 20 let pracovat s papírem a tužkou. O elektronickém rozhraní zápisu letových povolení bylo zjištěno, že EFS v mnoha aspektech usnadňuje práci a, že mají více nápomocných a varovných funkcí.

Výsledky této práce není možné s žádnou jinou studií porovnávat, jelikož podobný výzkum v oblasti řízení letového provozu se s využitím výše popsaných metodik provedení a analýzy konal poprvé. Nicméně teoretické poznatky práce vztahující se k dané problematice, získané z různých vědeckých zdrojů, se v rámci konaného experimentu potvrdili a shoda s těmito získanými informacemi byla pozorována též při osobních rozhovorech se zkušenými řídicími letového provozu během návštěvy pracoviště ŘLP Praha. Jedná se zejména o vlastnosti papírových proužků a systému stripless a také o jejich výhody či nevýhody, které mají značný dopad na efektivitu práce řídicího. Taktéž se potvrdili i osobní názory autora na zkoumanou problematiku, jelikož řídicí byli s novým systémem stripless mnohem spokojenější než s jeho papírovou obdobou.

Na stanovišti přibližovací služby řízení (APP) v Praze se přešlo z papírových proužků na stripless prostředí začátkem roku 2022. Pracovníci s více než dvacetiletými zkušenostmi na dané pozici sdělili, že stripless přináší řadu klíčových výhod – eliminaci „head-down



time“ a možnost soustředit se pouze na obrazovky před sebou, což nepochybně hraje velkou roli pro kriticky důležité situační povědomí. Již po roce využívání nově zavedeného stripless systému potvrdili jeho užitečnější vlastnosti a větší účinnost z hlediska přehledu o aktuální situaci. Během návštěvy APP Praha bylo též zjištěno, že stripless systém TopSky od Thales má nespočetné množství dalších dostupných funkcí, usnadňujících práci koordinaci letového provozu, pozitivně ovlivňující SA.

Po návštěvě pracoviště ŘLP Praha a po vyhodnocení provedeného experimentu se došlo k závěru, že papírové proužky jsou v profesi řídicího letového provozu nenávratnou minulostí. Výhody, které přináší nové elektronické systémy zápisu letových povolení překonávají benefity přechodí generace metod sledování a zaznamenávání povolení v letecké dopravě. Flexibilita papírových proužků je integrovaná do systémů EFS a stripless takovým způsobem, že myší a klávesnicí je možné změnit jakýkoliv parametr, nastavit jakoukoliv barvu či jinak změnit vzhled letového proužku či štítku. V práci bylo zmíněno, že fyzický kontakt jedince s papírem posiluje krátkodobou paměť, nicméně z výsledků provedeného měření bylo zjištěno, že kompletní vyloučení „head-down time“ u systému stripless poskytuje řídicímu možnost nerušeně věnovat všechnu pozornost situačnímu zobrazení pro budování a udržování odpovídající úrovně SA.

Novější systémy jako EFS nebo stripless nabízí mnohem víc varovných, nápomocných a koordinačních funkcí, a papírovou formu letových proužků je možné nyní přirovnat k zastaralé verzi mobilní aplikace, která byla úspěšně aktualizovaná do nové podoby. V důsledku neustálého technologického pokroku a rostoucí tendence zavádění digitálních systémů zaznamenávání a uchovávání informací se dnes stává běžnějším, že organizace jako ŘLP využívají modernější technologie k digitalizaci svých dat a procesů, což umožňuje efektivnější práci, zvýšenou produktivitu, lepší situační povědomí na stanovištích a rychlejší zpracovávání informací.

Průběh každého experimentu byl kromě nahrávání aplikací OBS Studio autorem práce osobně monitorován. V okamžik změny typu zápisu povolení při konání experimentu na systém stripless– tj., po zahájení druhé fáze měření, byl ihned vidět rozdíl ve výkonu u každého subjektu. Jak již zmíněno, systém stripless mimo jiné plně eliminuje parametr „head-down time“, což má za následek vyšší úroveň koncentrace řídicího na provozní situaci. Tato skutečnost byla autorem pozorována u každého z účastníku během jeho



měření. Toto se osvědčilo ve výsledcích daného výzkumu a je zobrazeno pomocí četností správných odpovědí v krabicových diagramech. Po úspěšném provedení experimentu a po jeho následném vyhodnocení je možné tvrdit, že novější systém stripless disponuje více výhodami z kognitivního hlediska oproti svému předchůdci, i přesto, že fyzická přítomnost papírových proužků byla ve více studiích popisována jako nejdůležitější součást vnímání vzdušného prostoru řídicím letového provozu.

Na základě obdržných výsledků provedeného experimentu se přišlo k závěru, že systém stripless se prokázal jako více efektivní a přínosný než systém papírových letových proužků, kde uživatelé „stripless“ dosahovali mnohem lepších výsledků při měření situačního povědomí. Relativně vysoká úroveň SA u systému stripless vypovídá o širším spektru znalostí a lepší mentální představě dynamického prostředí svého sektoru odpovědnosti při řízení letecké dopravy.



5. Závěr

Cílem této diplomové práce byla analýza metod zápisů letových povolení a následné posouzení jejich vlivu na efektivitu práce řídicích letového provozu. Analýza byla provedena vyhodnocením výsledků výzkumného experimentu, provedeného na simulátoru ATC na ÚLD, spočívající v měření situačního povědomí během simulace toku provozu letecké dopravy z pozice řídicího letového provozu přibližovací služby řízení. Měření SA probíhalo za pomoci využití techniky SAGAT, vycházející z náhodných zastavení simulací a vyzvání jednotlivce k vyplnění dotazníku, zaměřeného na prověření jeho situačního povědomí o vydaných povoleních a různých parametrech letů v jeho prostoru odpovědnosti na hlavní obrazovce řídicího. Každý z 15 účastníků byl podroben stejnému typu měření celkem dva krát, kde v první části experimentu se využívali papírové letové proužky s postupovou tabulí a během druhé fáze se pracovalo výhradně se systémem stripless.

Výsledky měření byly následně vyhodnoceny pomocí statistického testu a zobrazeny pomocí krabicových diagramů, znázorňující distribuci správných odpovědí na otázky z dotazníků. Na základě uvedených výstupů statistické analýzy a výsledků kvantitativního výzkumu situačního povědomí bylo v rámci tohoto projektu dosaženo závěru, že různé metody zápisu letových povolení mají nepochybný vliv na situační povědomí a účinnost práce řídicího letového provozu. Efektivnější metodou zápisu letových povolení z 2 metod zde porovnávaných je systém stripless.

Hlavní limitací práce byla absence možnosti provést experiment se řídicími letového provozu s mnoholetými zkušenostmi v této profesi. Nicméně subjekty, kteří se experimentu zúčastnili mají dostatečně znalostí a zkušeností se simulátorem ESCAPE Light pro využívání těchto dvou metod zápisu letových povolení. Účastníci tohoto experimentu absolvovali celý předmět „Simulátor ATC“ v rámci své výuky na ČVUT, mají nejméně 80 hodin praxe na ESCAPE Light a někteří teď začínají svoji kariéru jako řídicí letového provozu. Nicméně se ze začátku učili pracovat pouze se systémem stripless a s papírovými proužkami mají méně zkušeností. Další limitací daného výzkumu je věková kategorie účastníků experimentu (19-26). S ohledem na stále rozvíjející se digitální technologie a jejich vliv na naše každodenní životy se pro mladší generaci stává přirozenějším a snadnějším používání elektronických aplikací a displejů pro



zpracovávání a zaznamenávání informací, než tradiční metody jako je používání papíru a tužky. Vzhledem k věku subjektů a větším zkušenostem se systémem stripless je možné, že těmito faktory byly výsledky měření určitým způsobem zkresleny.

Práce má výše uvedené limitace, přesto je značným přínosem pro řešenou problematiku. Výzkum poskytuje přehled o vlivu různých metod zápisu letových povolení na situační povědomí řídicího, který může být využitý organizacemi řízení letového provozu, zvažující přechod na novější digitální systémy sledování vydaných povolení. Výsledky práce mohou být taktéž využity pro další výzkum dané problematiky. Jelikož elektronické letové proužky (EFS) nebyly předmětem porovnání, může další výzkum na tuto problematiku navázat a poznatky dané práce využít pro účely vytvoření nového experimentu.



Seznam použité literatury

- [1] - NOLAN, Michael S. *Fundamentals of Air Traffic Control* [online]. Fifth Edition. Cengage Learning, 2011 [cit. 2023-05-10]. ISBN 978-1-4354-8272-2.
- [2] – HUBER, Stephan, Johanna GRAMLICH a Tobias GRUNDGEIGER. From Paper Flight Strips to Digital Strip Systems: Changes and Similarities in Air Traffic Control Work Practices. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction* [online]. 2020, (Vol. 3, CSCW1, Article 28) [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: doi:10.1145/3392833.
- [3] – VORTAC, O. U., Mark B. EDWARDS, Dana K. FULLER a Carol A. MANNING. Automation and Cognition in Air Traffic Control: An Empirical Investigation. *Applied Cognitive Psychology* [online]. John Wiley & Sons, 1993, (Vol. 7), 631-651 [cit. 2023-03-30].
- [4] - *Project Implementation Plan: Initial Sector Suite System*. In: Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 1991.
- [5] - L. DILLINGHAM, Gerald. *Air Traffic Control: Evolution and Status of FAA's Automation Program*. United States General Accounting Office, 1998.
- [6] - MCINALLY, John. *EUROCONTROL History Book* [online]. 2010 [cit. 2023-03-31].
- [7] - RUSTE HOLEN, Mats. *Designing Electronic Flight Strips for Air Traffic Control: What considerations must be taken to design Flight Progress Strips for a digital system?* [online]. Norwegian University of Science and Technology, 2019 [cit. 2023-03-31].
- [8] - EUROCONTROL. LSSIP 2021 - Switzerland: *Local Single Sky Implementation* [online]. 2021 [cit. 2023-04-01].
- [9] - THALES AND DSNA UNVEIL A NEW VISION OF AIR TRAFFIC MANAGEMENT WITH 4-FLIGHT. *THALES - building a future we can all trust* [online]. 12.2022 [cit. 2023-04-01].
Dostupné z:
https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/aerospace/press_release/thales-and-dsna-unveil-new-vision-air-traffic-management-4-flight



- [10] - BERGNER, Jorg a Oliver HASSA. Air Traffic Control. *Information Ergonomics* [online]. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 2012, 197-225 [cit. 2023-03-29].
- [11] - L11 – Letové provozní služby: Služba řízení letového provozu. Letová informační služba. Pohotovostní služba. Letecký předpis. In: . Praha: Letová informační služba ŘLP ČR, 2017
- [12] - EUROCONTROL. *Flight information region (FIR/UIR) charts - 2023* [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/publication/flight-information-region-firuir-charts-2023>
- [13] - T. DURSO, Francis, Andrew R. DATTEL, Brian R. JOHNSON, et al. Real-Time Use of Paper in Air Traffic Control Towers: Criticality and Benefits. *The International Journal of Aviation Psychology* [online]. Department of Psychology, Texas Tech University: Taylor & Francis, 2008 [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: doi:10.1080/10508410802073582
- [14] - E. MACKAY, Wendy. Is Paper Safer? The Role of Paper Flight Strips in Air Traffic Control. *Information Systems* [online]. University of Aarhus, 2000 [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: doi:10.1145/331490.331491
- [15] - BOS, Tanja, Marian SCHUVER-VAN BLANKEN a Hans HUISMAN. *Towards a Paperless Air Traffic Control Tower: Conference Paper for HCII 2011* [online]. 2012 [cit. 2023-03-19]
- [16] - BAUER, M., J. KALVODA. Workload Features inside Air Traffic Control Electronic Transfer Environment. *Advances in Military Technology* [online]. 2020, (Vol. 15, 1), 191-199 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: doi:10.3849/aimt.01356
- [17] - C. CORVER, Sifra a Olga N. ANEZIRIS. The impact of controller support tools in enroute air traffic control on cognitive error modes: A comparative analysis in two operational environments. *Safety Science* [online]. Elsevier, 2015, (71) [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.ssci.2014.07.018
- [18] - AUSTRO CONTROL. "TopSky" system operational at airports. *Austro Control* [online]. 04.12.2015 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://www.austrocontrol.at/en/company/media/press___news/detail/___31



- [19] -LUFF, Paul, David GREATBATCH a Christian HEATH. *Tasks-in-Interaction: Paper and Screen Based Documentation in Collaborative Activity* [online]. School of Social Sciences, University of Nottingham, 1992 [cit. 2023-02-20]. Dostupné z: doi:10.1145/143457.143475
- [20] - VASYLETS, Olena, M. Dolores MELLADO a Luke PLONSKY. *The role of cognitive individual differences in digital versus pen-and-paper writing* [online]. Department of English Studies, Faculty of Pedagogy and Fine Arts, Adam Mickiewicz University, Kalisz [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: doi:10.14746/sslit.2022.12.4.9
- [21] - UMEJIMA, Keita, Takuya IBARAKI, Takahiro YAMAZAKI a Kuniyoshi L. SAKAI. Paper Notebooks vs. Mobile Devices: Brain Activation Differences During Memory Retrieval. *Frontiers in Behavioural Neuroscience: Learning and Memory* [online]. University of Tokyo, Japan, 2021 [cit. 2023-02-21] Dostupné z: doi:10.3389/fnbeh.2021.634158
- [22] - M. NOYES, Jan a Kate J. GARLAND. Computer- vs. paper-based tasks: Are they equivalent?. *Ergonomics* [online]. Taylor & Francis, 2008, (Vol. 51, 9), 1352–1375 [cit. 2023-02-21]. ISSN 1366-5847. Dostupné z: doi:10.1080/00140130802170387
- [23] - EL-ATTAR, Mohamed. Are models better read on paper or on screen? A comparative study. *Software and Systems Modeling* [online]. College of Technological Innovation, Zayed University, 2022, (21), 1531–1550 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: doi:10.1007/s10270-021-00966-y
- [24] - MANGEN, Anne, Bente R. WALGERMO a Kolbjørn BRØNNICK. Reading linear texts on paper versus computer screen: Effects on reading comprehension. *International Journal of Educational Research* [online]. (58), 61-68 [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijer.2012.12.002
- [25] - NIESSEN, C., K. EYFERTH a T. BIERWAGEN. Modelling cognitive processes of experienced air traffic controllers. *Ergonomics* [online]. 1999, (Vol. 42) [cit. 2023-01-02]. Dostupné z: doi:10.1080/001401399184857



- [26] - WICKENS, Christopher D., Anne S. MAVOR a James P. MCGEE. *Flight To The Future: Human Factors in Air Traffic Control*. Washington, D.C.: National Academy Press, 1997. ISBN 0-309-52525-X.
- [27] - MORAY, N., K.R. BOFF, L. KAUFMAN a J.P. THOMAS. Monitoring behavior and supervisory control. *Handbook of Perception and Performance* [online]. New York: Wiley, 1986, (Vol. II), 40-51 [cit. 2023-01-05].
- [28] - DITTMANN, A., K. Wolfgang KALLUS a D. VAN DAMME. *Integrated Task and Job Analysis of Air Traffic Controllers - Phase 3: Baseline Reference of Air Traffic Controller Tasks and Cognitive Processes in the ECAC Area* [online]. European Organisation for the Safety of Air Navigation, 2000 [cit. 2023-01-06].
- [29] - EDWARDS, Tamsyn. *Human Performance in Air Traffic Control* [online]. 2013 [cit. 2023-01-07]. Doctoral Thesis. University of Nottingham.
- [30] - NGUYEN, Thanh, Chee PENG LIM, Ngoc Duy NGUYEN, Lee GORDON-BROWN a Saeid NAHAVANDI. A Review of Situation Awareness Assessment Approaches in Aviation Environments. *IEEE Systems Journal* [online]. 2019 [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: doi:10.1109/JSYST.2019.2918283
- [31] - JEANNOT, E., C. KELLY a D. THOMPSON. *The Development of Situation Awareness Measures in ATM Systems* [online]. European Organisation for the Safety of Air Navigation, 2003 [cit. 2023-01-06].
- [32] - ENDSLEY, Mica R. Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors* [online]. Texas Tech University, 1995, (37), 32-64 [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: doi:10.1518/001872095779049543
- [33] - LINTERN, G. Flight Instruction: The challenge from situated cognition. *The International Journal of Aviation Psychology*. 1995, (5). [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: doi: 10.1207/s15327108ijap0504_1
- [34] - DOWELL, John. Formulating the cognitive design problem of air traffic management. *Int. J. Human—Computer Studies* [online]. Department of Computer



Science, University College, London, UK, 1998, (49), 743—766 [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: doi: 10.1006/ijhc.1998.0225

[35] - XIA, Xu, Pourang IRANI a Jing WANG. Evaluation of Guiard's Theory of Bimanual Control for Navigation and Selection. *Ergonomics and Health Aspects* [online]. Department of Computer Science, University of Manitoba, Canada: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007, 368-377 [cit. 2023-03-18]. Dostupné z: doi: 10.1007/978-3-540-73333-1_44

[36] - BERNDTSSON, Johan a Maria NORMARK. *The Coordinative Functions of Flight Strips: Air Traffic Control Work Revisited* [online]. 1999 [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: doi: 10.1145/320297.320308

[37] - VORTAC, O. U., Mark B. EDWARDS a Carol A. MANNING. Sequences of Actions for Individual and Teams of Air Traffic Controllers. *Human-Computer Interaction* [online]. 1994, (Volume 9), 319-343 [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: doi: 10.1207/s15327051hci0903&4_3

[38] - HILBURN, Brian. *Head-Down Time in ATC Tower Operations: Real Time, Simulations Results, Technical report, Center for Human Performance Research* [online]. Den Haag, 2004

[39] - ESCAPE – EUROCONTROL simulation capabilities and platform for experimentation: World-class air traffic control real-time simulator. *EUROCONTROL* [online]. [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/simulator/escape>

[40] - C. F. DE WINTER, J., Y. B. EISMA, C. D. D. CABRALL, P. A. HANCOCK a N. A. STANTON. Situation awareness based on eye movements in relation to the task environment. *Cognition, Technology & Work* [online]. Springer, 2018 [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: doi: 10.1007/s10111-018-0527-6

[41] – PECK, Roxy, Chris OLSEN a Jay DEVORE. *Introduction to Statistics and Data Analysis*. Third Edition. Thomson Brooks Cole. ISBN 978-0-495-11873-2.

[42] - BISKUP, Roman. Vyhodnocování výsledků testování hypotéz na základě "p-value." In: *Statistika by BIROM* [online]. Ekonomická fakulta JCU, 2012 [cit. 2023-05-11].