



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
Ústav letecké dopravy

**Návrh traťového štítku pro optimalizaci práce
řídícího letového provozu
Track label design for HMI optimization in 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. Jakub Šimerka

Praha 2022

K621.....Ústav letecké dopravy

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Jakub Šimerka

Studijní program (obor/specializace) studenta:

navazující magisterský – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Návrh traťového štítku pro optimalizaci práce
řídícího letového provozu**

Název tématu (anglicky): Track label design for HMI optimization in Air Traffic
Control

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je na základě výsledků zátěžových experimentů navrhnout uživatelsky přívětivý design traťového štítku.
- Analyzujte jednotlivé procesy práce s letovými štítky s ohledem na pracovní postupy, čas a informace, které je třeba na štítek zaznamenávat a s tím související zatížení a situační povědomí řídícího letového provozu.
- Navrhněte zátěžový experiment v prostředí simulátoru ESCAPE-Light zkoumající aspekty práce s traťovým štítkem.
- Proveďte experiment s pomocí simulátoru ESCAPE-Light.
- Zhodnoťte dopad práce s letovým štítkem na efektivitu řízení letového provozu a situační povědomí řídícího v souvislosti s grafickým nastavením letového štítku.
- Na základě získaných poznatků navrhněte optimální HMI řešení letového štítku.



- 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. (2016). Characterization of Visual Scanning Patterns in Air Traffic Control. Computational Intelligence and Neuroscience. 2016. 1-17. 10.1155/2016/8343842.
Truitt, Todd. (2006). Concept Development and Design Description of Electronic Flight Data Interfaces for Airport

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 2022**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

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



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

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Jakub Šimerka
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 17. května 2022



Abstrakt

Řízení letového provozu je komplexní, bezpečnostně kritická činnost s přesně stanovenými pracovními postupy. Automatizace procesů v řízení letového provozu umožňuje pomocí sdílených dat v rámci kritických systémů dosáhnout vyšší kapacity a efektivity řízení letového provozu. Cílem je jednotlivé procesy práce s traťovým štítkem analyzovat a definovat. Dále na základě experimentu vyhodnotit efektivitu jednotlivých způsobů zobrazení letových dat ve štítku s ohledem na čas, který práce se štítkem vyžaduje a na situační povědomí řídicího. Na základě získaných informací je cílem práce doporučit rozhraní člověk-stroj pro zobrazování letových dat ve štítku tak, aby byla jeho obsluha jednoduchá a umožňovala další automatizaci přenosu informací ze štítku do dalších kritických systémů.

Klíčová slova: elektronický formulář, rozhraní člověk-stroj, řízení letového provozu, traťové štítky



Abstract

Air traffic control is a complex, safety-critical activity with well-defined workflows. The automation of air traffic control processes enables greater capacity and efficiency in air traffic management through shared data across critical systems. The objective is to analyse and define the individual processes of the work with track label. Furthermore, based on an experiment, evaluate the efficiency of the different ways of displaying flight data in the label with respect to the time required to interact with the label and the situational awareness of the controller. Based on the information gathered, the goal of this thesis is to recommend a human-machine interface for displaying flight data in the label that is simple to operate and allows for further automation of the transfer of information from the label to other critical systems.

Keywords: air traffic control, flight progress strip, human-computer interaction, label



Poděkování

Na tomto mieste by som rád poďakoval najmä vedúcej projektu, Ing. Terézii Pilmannovej, MBA., za odborné a cenné rady k jej vypracovaniu. Ďalej by som chcel poďakovať pánovi Stanislavovi Schmidtovi za pomoc pri navrhovaní experimentu a testovaní subjektov. V neposlednej rade by som chcel poďakovať svojej rodine a blízkym za podporu počas celej doby štúdia.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Návrh traťového štítku pro optimalizaci práce řídicího letového provozu 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).

V Praze dne 30. listopadu 2022

.....

Podpis



Obsah

Zoznam obrázkov	9
Zoznam tabuliek.....	12
Zoznam symbolov a skratiek	13
Úvod	16
1 Analýza súčasného stavu	17
1.1 Riadenie letovej prevádzky	17
1.1.1 História.....	18
1.1.2 Organizácia európskeho vzdušného priestoru.....	21
1.1.3 Rozdelenie vzdušného priestoru	22
1.1.4 Výkonný riadiaci letovej prevádzky.....	24
1.1.5 Plánovací riadiaci letovej prevádzky.....	25
1.1.6 Pracovná stanica riadiaceho letovej prevádzky	26
1.1.7 Letové štítky.....	30
1.1.8 Papierové letové štítky	31
1.2 Rozhranie človek-počítač (HCI)	35
1.2.1 Kognitívna funkcia.....	36
1.2.2 Ľudská výkonnosť	37
1.2.3 Vzťah medzi vstupom a vizualizáciou.....	38
1.2.4 Vývoj zameraný na užívateľa	38
1.2.5 Grafické užívateľské prostredie (GUI)	38
1.2.6 Užívateľská skúsenosť (UX).....	39
1.3 Kľúčové zásady vytvárania užívateľského prostredia.....	39
1.4 Digitalizácia letových štítkov	41
1.4.1 Strip'TIC.....	44
1.4.2 DigiStrips	46
1.4.3 ASTER.....	49
1.4.4 Prototyp EFS (Electronic Flight Strip) na letisku Schiphol.....	51
1.4.5 P1/VAFORIT a iCAS (iTEC Centre Automation System).....	52
1.4.6 Frequentis smartSTRIPS	54



1.4.7	Thales TopSky	55
1.5	Limitácie súčasného stavu	57
2	Experiment.....	58
2.1	EUROCONTROL Simulation Capability And Platform for Experimentation	58
2.2	Prostredie ESCAPE Light	58
2.2.1	Elektronické formuláre v prostredí ESCAPE Light	60
2.2.2	Interakcia s elektronickým formulárom v prostredí ESCAPE Light a jeho limitácie	62
2.3	Návrh alternatívnych riešení interakcie s elektronickým formulárom	63
2.3.1	Prototyp dizajnu navrhnutého elektronického formuláru	65
2.3.2	Testovanie navrhnutého riešenia	67
2.3.3	Upravený návrh dizajnu elektronického formuláru	67
2.4	Analýza výsledkov	68
2.4.1	Záznam výsledkov	68
2.4.2	Používaná taxonómia.....	69
2.4.3	Úprava nameraných dát.....	69
2.4.4	Štatistické ukazovatele.....	69
2.4.5	Interakcie s navrhnutými riešeniami	71
2.4.6	Interakcie s navrhnutými riešeniami podľa parametru	74
3	Diskusia výsledkov	80
4	Záver	85
	Zoznam príloh	94



Zoznam obrázkov

Obrázok 1 Rozdelenie letových navigačných služieb (ANS) [3]	22
Obrázok 2 Traťová stanica typu P1/ATCAS používaná poskytovateľom letových služieb v Nemecku Deutsche Flugsicherung (DFS) [3]	27
Obrázok 3 Pracovná pozícia riadiaceho letovej prevádzky zaisťujúceho priletý lietadiel [3] .	28
Obrázok 4 Ilustrácia elektronického formuláru letu na radarovom displeji riadiaceho letovej prevádzky [3]	29
Obrázok 5 Ilustrácia zobrazenia základných informácií letu v elektronickom formulári [3]	29
Obrázok 6 Kolaborácia riadiacich letovej prevádzky v stredisku v Athis Mons [17]	31
Obrázok 7 Panel pre ukladanie papierových letových štítkov [3].....	32
Obrázok 8 Príklad papierového letového štítku na približovacom riadení letiska Mníchov [3]	33
Obrázok 9 Príklad dokumentácie jednotlivých povolení na papierovom letovom štítku na približovacom riadení letiska Mníchov [3].....	34
Obrázok 10 Kognitívne operácie v kontexte reakčného času [21]	36
Obrázok 11 Distribúcia reprezentujúca normálne rozdelenie schopnosti písania slov na klávesnici podľa počtu subjektov [21].....	37
Obrázok 12 Zobrazenie používaného systému Strip'TIC [32].....	45
Obrázok 13 Ilustrácia prototypu systému Strip'TIC [33].....	45
Obrázok 14 Zobrazenie letových štítkov systému DigiStrips na paneli riadiaceho letovej prevádzky [36]	48
Obrázok 15 Spôsob dokumentácie informácií v letových štítkoch systému DigiStrips [38] ...	48
Obrázok 16 Príklad zobrazenia listu možností pri zmene hodnoty parametru letu v systéme DigiStrips [36]	48



Obrázok 17 Zobrazenie simulovaného prostredia VertiDigi vo fáze vývoja [39].....	50
Obrázok 18 Prototyp systému EFS riadenia pozemnej letovej prevádzky [41]	51
Obrázok 19 Stanica P1/VAFORIT v oblastnom stredisku riadenia letovej prevádzky DFS [3]	53
Obrázok 20 Integrated Controller Working Position (iCWP) vyvíjaný spoločnosťou Frequentis [45]	54
Obrázok 21 Užívateľské prostredie smartSTRIPS implementované v letiskovej veži Schiphol v Amsterdame [47].....	55
Obrázok 22 Príklad elektronického formulára systému TopSky v kompaktnej forme [50].....	56
Obrázok 23 Príklad elektronického formulára systému TopSky v rozšírenej forme a schopnosť vertikálneho posunu informácií [50].....	56
Obrázok 24 Príklad zadávania hodnoty rýchlosti letu v prostredí systému TopSky	57
Obrázok 25 Riadenie letovej prevádzky v prostredí ESCAPE Light na Ústave leteckej dopravy, Fakulty dopravnej, České vysoké učení technické v Prahe	60
Obrázok 26 Príklad kompaktného zobrazenia elektronického formuláru v prostredí ESCAPE Light.....	61
Obrázok 27 Príklad rozšíreného zobrazenia elektronického formuláru v prostredí ESCAPE Light.....	61
Obrázok 28 Spôsob vkladania hodnôt letovej hladiny, rýchlosti a vertikálnej rýchlosti stúpania do elektronického formuláru v prostredí ESCAPE Light	62
Obrázok 29 Znázornenie procesu označenia parametru letovej hladiny ukazovateľom a zadávanie hodnoty pomocou použitia numerickej klávesnice.....	63
Obrázok 30 Znázornenie procesu označenia parametru letovej hladiny číslom a zadávanie hodnoty pomocou použitia numerickej klávesnice.....	64
Obrázok 31 Znázornenie procesu označenia parametru letovej hladiny písmenom a zadávanie hodnoty pomocou použitia numerickej klávesnice.....	64



Obrázok 32 Vytvorený prototyp elektronického formuláru implementovanom v prostredí ESCAPE Light	65
Obrázok 33 Proces zmeny letovej hladiny v elektronickom formulári pomocou menu s listom možných hodnôt	66
Obrázok 34 Proces prvotného pridelenia hodnoty rýchlosti letu v elektronickom formulári...	67
Obrázok 35 Vytvorený elektronický formulár po implementácii úprav na základe spätnej väzby z prvej fázy meraní	68
Obrázok 36 Grafické znázornenie počtosti nameraných časových intervalov riešenia typu menu (A), riešenia typu myš (B), riešenia typu 1234 (C) a riešenia typu WASD (D).....	71
Obrázok 37 Grafické zobrazenie nameraných hodnôt časových intervalov všetkých riešení pre všetky parametre	72
Obrázok 38 Grafické zobrazenie nameraných hodnôt časových intervalov všetkých riešení pre všetky parametre vo forme Joyplot diagramu.....	73
Obrázok 39 Grafické zobrazenie nameraných časových intervalov všetkých riešení pre zadávaný parameter letovej hladiny.....	75
Obrázok 40 Grafické zobrazenie nameraných časových intervalov všetkých riešení pre zadávaný parameter rýchlosti letu	76
Obrázok 41 Grafické zobrazenie nameraných časových intervalov všetkých riešení pre zadávaný parameter smeru letu.....	77
Obrázok 42 Grafické zobrazenie nameraných časových intervalov všetkých riešení pre zadávaný parameter vertikálnej rýchlosti stúpania	78
Obrázok 43 Grafické zobrazenie nameraných časových intervalov riešenia typu menu pre všetky zadávané parametre	79
Obrázok 44 Výber hodnoty vertikálnej rýchlosti stúpania pomocou zvolenia možnosti z menu	82



Zoznam tabuliek

Tabuľka 1 Stredné hodnoty x , rozptyly σ^2 , smerodajné odchýlky σ , mediány $x_{0,5}$, dolné kvartily $x_{0,25}$, horné kvartily $x_{0,75}$, medzikvartilové rozpätia q , dolné vnútorné hradby x_{min} a horné vnútorné hradby x_{max} meraných riešení pre všetky zadávané parametre.....	72
Tabuľka 2 Stredné hodnoty x , rozptyly σ^2 , smerodajné odchýlky σ , mediány $x_{0,5}$, dolné kvartily $x_{0,25}$, horné kvartily $x_{0,75}$, medzikvartilové rozpätia q , dolné vnútorné hradby x_{min} a horné vnútorné hradby x_{max} meraných riešení pre zadávaný parameter letovej hladiny.....	75
Tabuľka 3 Stredné hodnoty x , rozptyly σ^2 , smerodajné odchýlky σ , mediány $x_{0,5}$, dolné kvartily $x_{0,25}$, horné kvartily $x_{0,75}$, medzikvartilové rozpätia q , dolné vnútorné hradby x_{min} a horné vnútorné hradby x_{max} meraných riešení pre zadávaný parameter rýchlosti letu.	76
Tabuľka 4 Stredné hodnoty x , rozptyly σ^2 , smerodajné odchýlky σ , mediány $x_{0,5}$, dolné kvartily $x_{0,25}$, horné kvartily $x_{0,75}$, medzikvartilové rozpätia q , dolné vnútorné hradby x_{min} a horné vnútorné hradby x_{max} meraných riešení pre zadávaný parameter smeru letu.	77
Tabuľka 5 Stredné hodnoty x , rozptyly σ^2 , smerodajné odchýlky σ , mediány $x_{0,5}$, dolné kvartily $x_{0,25}$, horné kvartily $x_{0,75}$, medzikvartilové rozpätia q , dolné vnútorné hradby x_{min} a horné vnútorné hradby x_{max} meraných riešení pre zadávaný parameter vertikálnej rýchlosti stúpania.....	78
Tabuľka 6 Stredné hodnoty x , mediány $x_{0,5}$, dolné kvartily $x_{0,25}$ a horné kvartily $x_{0,75}$ meraných riešení myš, 1234, WASD pre všetky zadávané parametre.	80
Tabuľka 7 Stredné hodnoty x , smerodajné odchýlky σ , mediány $x_{0,5}$, dolné kvartily $x_{0,25}$, horné kvartily $x_{0,75}$ a medzikvartilové rozpätia q meraných riešení pre zadávaný parameter vertikálnej rýchlosti stúpania.	81



Zoznam symbolov a skratiek

\bar{x}	Aritmetický priemer
σ^2	Rozptyl
σ	Smerodajná odchýlka
$\tilde{x}_{0,5}$	Medián
$\tilde{x}_{0,25}$	Dolný kvartil
$\tilde{x}_{0,75}$	Horný kvartil
q	Medzikvartilové rozpätie
x_{min}	Dolná vnútorná hradba
x_{max}	Horná vnútorná hradba
ACC	Oblasťné stredisko riadenia (Area Control Centre)
AIS	Letecké informačné služby (Aeronautical Services)
AMAN	Príletový manažér (Arrival Manager)
ANS	Letové navigačné služby (Air Navigation Services)
APP	Približovacia služba riadenia (Approach Control)
AR	Rozšírená realita (Augmented Reality)
AS	Pohotovostná služba (Alerting Service)
ASM	Usporiadanie vzdušného priestoru (Air Space Management)
ATC	Riadenie letovej prevádzky (Air Traffic Control)



ATCISS	Podporný systém riadenia letovej prevádzky (Air Traffic Control Information Support System)
ATFCM	Usporiadanie toku a kapacity letovej prevádzky (Air Traffic Flow and Capacity Management)
ATFM	Usporiadanie toku letovej prevádzky (Air Traffic Flow Management)
ATM	Usporiadanie letovej prevádzky (Air Traffic Management)
ATS	Letové prevádzkové služby (Air Traffic Services)
CFMU	Stredisko usporiadania toku letovej prevádzky (Central Flow Management Unit)
CNS	Komunikácia, navigácia a prehľad (Communication Navigation Surveillance)
EFS	Elektronický letový štítok (Electronic Flight Strip)
FDPS	Systém spracovania letových údajov (Flight Data Processing System)
FIS	Letová informačná služba (Flight Information Service)
FMP	Jednotka riadenia toku (Flow Management Position)
FMU	Stanovište usporiadania toku letovej prevádzky (Flow Management Unit)
GUI	Grafické užívateľské prostredie (Graphical User Interface)
HCI	Rozhranie človek-počítač (Human computer interaction)
HMI	Rozhranie človek-stroj (Human Machine Interface)
IATA	Medzinárodné združenie leteckých dopravcov (International Air Transport Association)
ICAO	Medzinárodná organizácia pre civilné letectvo (International Civil Aviation Organisation)
IFATCA	Medzinárodná federácia združenia riadiacich letovej prevádzky (International Federation of Air Traffic Controllers' Associations)



IFR	Pravidlá letu podľa prístrojov (Instrument Flight Rules)
MET	Meteorologické služby (Meteorological Services)
NDB	Nesmerový rádiomaják (Non-Directional Beacon)
NMOC	Centrálne stanovisko pre usporiadanie siete letovej prevádzky (Network Manager Operation Centre)
NOTAM	Poznámka pre letca (Notice to Airman)
SAR	Pátranie a záchrana (Search and Rescue)
SID	Štandardný prístrojový odlet (Standard Instrument Departure)
STAR	Štandardný prístrojový prílet (Standard Terminal Arrival Route)
SVS	Hlasový komunikačný systém (Voice Communication System)
TMA	Koncová riadená oblasť (Terminal Manoeuvring Area)
TWR	Letisková riadiaca veža (Air Traffic Control Tower)
UAC	Oblasťné stredisko riadenia horného vzdušného priestoru (Upper Area Control Centre)
UX	Užívateľská skúsenosť (User Experience)
VOR	VKV všesmerový maják (VHF Omnidirectional Range)



Úvod

Riadenie letovej prevádzky je komplexná, náročná a časovo kritická aktivita. Pre bezpečné riadenie letovej prevádzky je nutné mať dostatočný počet oprávneného personálu, riadiacich letovej prevádzky, asistentov, dohliadajúcich nadriadených a technického vybavenia. Práve časovo kritická zložka tejto profesie odlišuje riadenie letovej prevádzky od ostatných druhov povolání. Na rozdiel od iných činností, kde sa dá vykonávaná úloha uložiť a vrátiť sa k nej neskôr, nie je možné obsluhu riadenia letovej prevádzky prerušiť, nakoľko pohyb lietadiel vo vzdušnom priestore nie je možné pozastaviť. [1]

Aby bolo možné zaistiť riadenie letovej prevádzky, riadiaci musia konštantne koordinovať a spolupracovať jeden s druhým. Z týchto dôvodov boli vytvorené procedúry a pravidlá, ktoré vytvárajú štruktúru a hierarchiu týchto kooperačných úkonov medzi jednotlivými sektormi vzdušného priestoru. S výnimkou vzdušného priestoru FRA (Free Route Airspace), sú stanovené procedúry, ktoré exaktne špecifikujú princípy predávania letov medzi sektormi pomocou vytvorenia štandardných leteckých trás a definovania špecifických letových hladín. Tieto procedúry a pravidlá sú nevyhnutným zdrojom informačného povedomia riadiacich letovej prevádzky o nadchádzajúcej situácii, to znamená kde, kedy a v akej letovej hladine má riadiaci let očakávať. Definované pravidlá umožňujú riadiacim získať informačné a priestorové povedomie o riadenom sektore a možnosť vyhodnotiť nasledujúcu situáciu. [1]

K správnej činnosti riadenia letovej prevádzky okrem procedúr a pravidiel je potrebné vybavenie, ktoré umožňuje riadiacim vykonávať tieto činnosti. Toto vybavenie je napríklad radar, ktorý informuje riadiacich o polohe jednotlivých lietadiel v oblasti, ale taktiež komunikačné zariadenia zaisťujúce efektívnu koordináciu ako napríklad telefón s rýchlym vytáčaním. [1]

Pre umožnenie efektívneho a bezpečného vykonávania práce riadiaceho letovej prevádzky musí byť technické vybavenie prispôsobené aktuálnym potrebám. V súčasnosti nie sú verejné žiadne publikácie, ktoré sa venujú rôznym typom manipulácie s traťovým štítkom. Rozhranie človek-stroj býva často nezohľadnené v problematike digitálnych traťových štítkov, čo môže viesť k implementáciám sub-optimálnych riešení.

Cieľom tejto práce je navrhnúť alternatívne spôsoby manipulácie s traťovým štítkom s ohľadom na časovú efektívnosť a podporu mentálneho modelu riadiaceho letovej prevádzky. Testovanie riešení prebieha pomocou vytvorených grafických užívateľských prostredí, s ktorými subjekty interagujú a zadávajú povolenia podľa pokynov z audio-nahrávky.



1 Analýza súčasného stavu

1.1 Riadenie letovej prevádzky

Riadenie letovej prevádzky je uskutočňované z rôznych lokácií podľa aktuálnej polohy lietadla. Pri pohybe lietadla po rolovacích dráhach a vzletovo-pristávacích dráhach je lietadlo vedené riadiacim letovej prevádzky z letiskovej riadiacej veže, prilietavajúce alebo odlietavajúce lietadlo je vedené riadiacim letovej prevádzky z približovacieho stanoviska riadenia a pri pohybe po letových tratiach je lietadlo vedené riadiacim letovej prevádzky z oblastného strediska riadenia. [2] Pri predávaní lietadla z jedného riadiaceho stanoviska na iné spolupráca riadiacich a asistentov letovej prevádzky zaisťuje bezpečné a nákladovo efektívne riadenie pre zachovanie minimálnych vzdialeností medzi lietadlami a optimalizáciu finančných nákladov a dĺžky letu. [1]

Riadenie letovej prevádzky je uskutočňované z pozemných riadiacich staníc personálom, ktorý zaisťuje bezpečný, efektívny a usporiadaný tok leteckej prepravy na letových tratiach a letiskách. Úlohy riadenia letovej prevádzky predstavujú nasledovné body: [3]

- Predchádzanie zrážkam lietadiel vo vzdušnom priestore a manévrovacích priestoroch letiska.
- Predchádzanie zrážkam lietadiel s ostatnými vozidlami a prítomnými prekážkami na manévrovacích priestoroch letiska.
- Bezpečne, usporiadane a efektívne zaisťiť letovú prevádzku v riadenom vzdušnom priestore pričom sa snažiť zamedziť hluk produkovaný lietadlami.
- Poskytovanie inštrukcií a informácií pre bezpečný, usporiadaný a efektívny priebeh letu.
- Informovať príslušné organizácie v prípade potreby asistencie lietadlu a spolupracovať s týmito organizáciami.

Riadenie letovej prevádzky je poskytované vo väčšine vzdušného priestoru. Tieto služby sú dostupné pre všetky typy lietadiel, súkromné, vojenské aj komerčné. V riadenom vzdušnom priestore sú riadiaci letovej prevádzky zodpovední za udržiavanie rozstupov medzi jednotlivými lietadlami, zatiaľ čo v neriadenom vzdušnom priestore sú piloti zodpovední za udržiavanie príslušných rozstupov od ostatných lietadiel. Podľa typu letu, rozdelenia a tried vzdušného priestoru riadenie letovej prevádzky udeľuje inštrukcie pilotom,



ktorí sú povinní dané úkony vykonať, alebo poskytuje relevantné informácie pilotom pre koordináciu letu v riadenom vzdušnom priestore. [4]

Riadenie letovej prevádzky je jednou z najmladších profesií. Ako iné moderné profesie sa riadenie letovej prevádzky v relatívne krátkom časovom období vyvinulo z jednoduchých začiatkov po veľmi sofistikovanú a technologicky závislú profesiu. Rozsiahly vývin profesie je riadený práve intenzívnym dopytom. Vývoj tejto profesie sa líšil v závislosti na regióne a krajine, ale základné princípy sú v podstate rovnaké. V knihe *European Air Traffic Management: Principles, Practice and Research* autor opisuje riadenie letovej prevádzky ako vednú disciplínu, pričom niektorí ju nazývajú aj umením zaistiť bezpečnosť udržiavaním rozstupov medzi lietadlami súčasne s usporiadanosťou a efektívnosťou. [5]

1.1.1 História

Po prvej svetovej vojne nárast leteckej dopravy signalizoval potrebnú štandardizáciu pravidiel vo vzdušnom priestore jednotlivých krajín. Toto bolo hlavne evidentné v Európe, kde sa početne nachádzajú štátne hranice a rôzne jazyky, ktorými sa jednotlivé štáty dorozumievajú. Základné všeobecné pravidlá a usmernenia medzinárodnej leteckej navigácie boli vytvorené výsledkom Parížskej mierovej konferencie v roku 1919. Koncept riadenia letovej prevádzky sa vyvíjal v západnej Európe po prvej komerčnej leteckej zrážke 7.4.1922 nad územím Francúzska, ktorá vyzývala implementáciu opatrení, aby sa podobná katastrofa neopakovala. Implementované opatrenia predstavovali povinnosť prítomnosti rádiového telekomunikačného zariadenia na palube lietadiel a vytvorenie definovaných vizuálnych letových trias. [5]

Ďalší incident, ktorý prispel k vývoju riadenia letovej prevádzky sa stal na Londýnskom letisku Croydon, kde vznikol kolízny incident medzi dvoma lietadlami na vzletovo-pristávajúcej dráhe. Výsledkom incidentu bola implementácia NOTAM-u (Notice to Airman), ktorý informoval pilota o prioritách poradia a následne musel čakať na povolenie pre vzlet od riadiaceho subjektu mávaním vlajky červenej farby. Po vybudovaní veže na letisku pre rádiovú telekomunikáciu s lietadlami zamestnanec menom Jimmy Jeffs vyvinul prvé zariadenie na zobrazenie priebehu letu. Zariadenie pozostávalo z mapy a farebných špendlíkov, ktoré symbolizovali nahlásené a odhadované polohy lietadiel. Následne k jednotlivým špendlíkom pridal papierové pásiky, ktoré obsahovali volací znak lietadla a príslušnú výšku. V prípade približovania dvoch lietadiel v rovnakej výške informoval tieto lietadlá o ich blízkej vzájomnej polohe, čo je rozoznávané ako prvé poradenské služby v leteckej prevádzke. NOTAM 109/1924 upresnil pravidlá



pre povolenie k vzletu a prvý krát referoval o riadiacej veži na letisku a v preklade definoval:
[5]

- V prípade, že lietadlo je viditeľné z riadiacej veže, povolenie k vzletu bude udelené vežou.

Pomocou využitia siete nízkofrekvenčných rádiových majákov v Spojených štátoch amerických boli v roku 1933 predstavené podmienky pre takzvaný let podľa prístrojov (IFR - Instrument Flight Rules). S využitím letu podľa prístrojov bolo umožnené vykonávať lety v noci a za zhoršeného počasia. Ako následok boli vytvorené strediská riadenia leteckej prevádzky, anglicky Airway Traffic Control Centres, prvé zavedené do prevádzky v Newarku v roku 1935. V roku 1938 boli vytvorené predpisy pre civilné letectvo (Civil Air Regulations), ktoré nariaďovali pilotom vyhovieť inštrukciám vydanými riadiacim letovej prevádzky. [5]

Prvé využitie radaru pre sledovanie letovej prevádzky v terminálnych fázach letu bolo zavedené v mestách Sydney a Melbourne v roku 1959 a prvé radarové centrum na sledovanie prevádzky v traťových fázach letu bolo zavedené v roku 1965 v meste Sydney. V Európe bolo Holandsko lídrom predstavovania modernej technológie pre vyvíjajúcu sa leteckú prevádzku, kde sa radarové centrá plošne rozšírili počas druhej svetovej vojny. Počas vojny bolo letisko Schiphol v Amsterdame zničené a bolo nutné riadenie letovej prevádzky znova vybudovať. Hlavným nástrojom riadenia letovej prevádzky bol veľký list papiera, na ktorom boli horizontálne znázornené vzdialenosti od letiska a časové intervaly do pristátia. Zo stredu boli označené farebné čiary, ktoré reprezentovali letové cesty a volacie znaky lietadiel. Výšky a šípky reprezentujúce stav stúpania alebo klesania boli dokresľované pomocou ceruzky. V roku 1952 boli po prvý krát v Holandsku implementované letové cesty, ktoré nahradili cesty s priamym smerovaním, ktoré začínali byť preplnené a nebezpečné. Prehľadový radar bol na letisku Schiphol implementovaný v roku 1953, čo zvýšilo hodinovú kapacitu priletov z desať na dvadsaťpäť. S odstupom času vývoj lietadiel, prehľadových systémov a navigačných zariadení umožnil riadiacim letovej prevádzky v Holandsku uspokojiť dopyt letovej prevádzky. [5]

Vývin prúdových lietadiel, rozšírenie riadeného vzdušného priestoru z výšky 15 000 stôp na 25 000 stôp a nahradenie NDB (Non-Directional Beacon) rádiomajákov VOR (VHF Omnidirectional Range) majákmi boli hlavné faktory pri vývoji riadenia letovej prevádzky. Následný pokrok v riadení letovej prevádzky bolo vytvorenie vyčkávacích pozícií v koncových riadiacich oblastiach TMA (Terminal Manoeuvring Area) a vstupných bodov do spomínanej



oblasti, vytvorenie postupov SID (Standard Instrument Departure) pre odlietajúcu prevádzku a postupov STAR (Standard Terminal Arrival Route) pre prilietajúcu prevádzku. V Holandsku taktiež bol vytvorený prvý systém plánovania a riadenia (Planning and Executive Control System), metóda pri ktorej jeden riadiaci pripravuje traťové a terminálne postupy a druhý riadiaci ich pomocou využitia prehľadových systémov implementuje. [5]

Jedným z najdôležitejších momentov v histórii leteckej prevádzky sa konal v novembri 1944, Chicagský dohovor o civilnom letectve, kde zúčastnené štáty založili Medzinárodnú organizáciu pre civilné letectvo ICAO (International Civil Aviation Organisation). Ešte dôležitejšie ako založenie ICAO bolo samotné vytvorenie Chicagského dohovoru, ktorý vytvoril podklady pre pravidlá a predpisy týkajúce sa leteckej navigácie a jej aspekty, čo umožnilo výtvar spoločného navigačného systému po celom svete. Každopádne aj po vstupe Chicagského dohovoru do platnosti, prístup k riadeniu letovej prevádzky ostal lokálne interpretovateľný, čo znamená, že každá krajina je zodpovedná za riadenie leteckej prevádzky nad svojim územím. Napriec Európou administratívne orgány zodpovedné za implementáciu spoločných pravidiel a procedúr neadresovali požiadavky riadiacich letovej prevádzky. [5]

V päťdesiatich rokoch technológie začali dobiehať dopyt leteckej prevádzky, ale administratívne zložky neboli schopné držať krok so zvyšujúcim sa dopytom, ktorý už v tých časoch prezentoval zdvojnásobenie dopytu každých päť rokov. Hlavne v Európskych centrách pre riadenie letovej prevádzky boli riadiaci obmedzovaní zastaralými procedúrami a limitáciami vzdušného priestoru vytváranými národnými hranicami. Tieto obmedzenia v profesii riadenia letovej prevádzky viedli k vytvoreniu Medzinárodnej federácii asociácií riadiacich letovej prevádzky (IFATCA – International Federation of Air Traffic Controllers' Associations) v septembri 1961, ktorá úzko spolupracuje s rôznymi leteckými úradmi a inštitúciami, ako napríklad ICAO, IATA (International Air Transport Association), EUROCONTROL a iné. [5]

Európska organizácia pre bezpečnosť leteckej prevádzky EUROCONTROL (European Organisation for the Safety of Air Navigation) je celoeurópska medzivládna civilno-vojenská organizácia, ktorá bola založená v roku 1960 a jej úlohou je poskytovanie technickej expertízy v oblasti manažmentu letovej prevádzky. [6] Jej hlavným pracovným cieľom je vytvorenie homogénneho európskeho ATM (Air Traffic Management) systému, ktorý je schopný reagovať na zvýšený dopyt leteckej prevádzky pričom bude zohľadňovať najvyššiu úroveň bezpečnosti, zníženie nákladov a ochrana životného prostredia. Centrálné stanovisko



pre usporiadanie siete letovej prevádzky (NMOC - Network Manager Operation Center), ktoré bolo vyvinuté z Centrálnej jednotky usporiadania toku letovej prevádzky (CFMU - Central Flow Management Unit), agentúry EUROCONTROL zaisťuje, že dopyt leteckej prevádzky neprekročí hranicu kapacity infraštruktúry. Túto službu zaisťuje pomocou konceptu známym ako ATFCM (Air Traffic Flow and Capacity Management), ktorý usporiada tok letovej prevádzky závisle na dostupnej kapacite. EUROCONTROL zohráva jednu zo základných zložiek v európskej letovej prevádzke s širokou škálou programov a iniciatív, ktorými ovplyvňuje skoro každú časť európskej letovej prevádzky. [5]

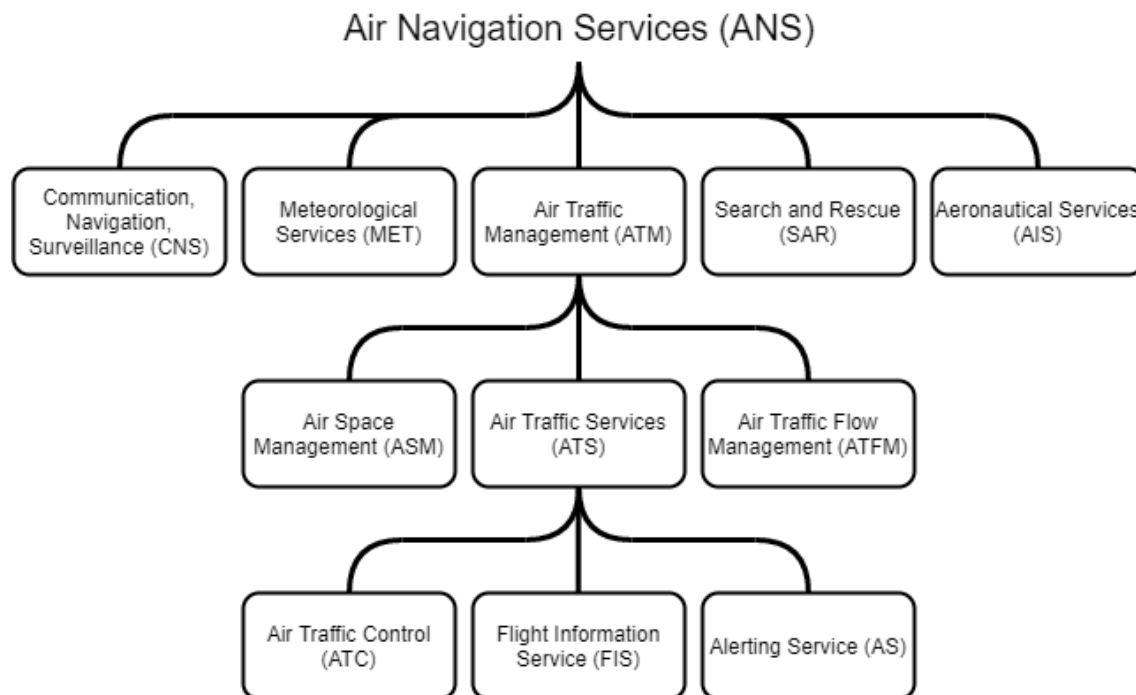
1.1.2 Organizácia európskeho vzdušného priestoru

Letové navigačné služby (ANS - Air Navigation Services) sa skladajú z piatich podkategórií zobrazených na Obrázok 1, ktoré sú CNS (Communication Navigation Surveillance), MET (Meteorological Services), ATM (Air Traffic Management), SAR (Search and Rescue) a AIS (Aeronautical Services). ATM následne zahŕňa všetky služby, ktoré sa týkajú leteckej navigácie a to sú: [3]

- ASM (Air Space Management), ktorej úlohou je plánovanie a publikovanie usporiadania vzdušného priestoru pre civilne a vojensky riadené letové trate a územia vyhradené pre letiská s ohľadom na bezpečnosť a plynulosť leteckej prevádzky
- ATS (Air Traffic Services) a
- ATFM (Air Traffic Flow Management) alebo ATFCM (Air Traffic Flow and Capacity Management), ktorý bol spomenutý v predchádzajúcej kapitole

Služba ATS následne pozostáva zo služieb: [3]

- ATC (Air Traffic Control)
- FIS (Flight Information Service), ktorej úlohou je poskytovanie informácií potrebné k letu ako napríklad meteorologické podmienky, stav letísk, stav vzdušného priestoru a iné relevantné operačné informácie priamo v kabíne lietadla [7] a
- AS (Alerting Service), ktorej úlohou je upozornenie a asistencia relevantným organizáciám v prípade, že lietadlo je v stave núdze a je potrebná služba pátrania a záchrany. [8]



Obrázok 1 Rozdelenie letových navigačných služieb (ANS) [3]

1.1.3 Rozdelenie vzdušného priestoru

Vzdušný priestor je rozdelený do jednotlivých letových informačných oblastí. Tieto letové informačné oblasti sú následne pridelené radarovým riadiacim strediskám, kde sú rozdelené do menších oblastí za ktoré sú riadiaci zodpovední, označované ako sektory. Oblastné stredisko riadenia (ACC - Area Control Centre) je zodpovedné za riadenie spodného vzdušného priestoru a oblastné stredisko riadenia horného vzdušného priestoru (UAC – Upper Area Control Centre), ktoré zodpovedá za riadenie horného vzdušného priestoru. Prechod medzi spodným vzdušným priestorom a horným vzdušným priestorom je obvykle vo výške 24 000 stôp (7500 m). [3] Riadiaci letovej prevádzky v týchto strediskách riadenia zabezpečujú, že lietadlá na letových trasách udržujú vzájomne stanovené minimálne rozostupy, nazývané Separation Minima. Tieto rozostupy činia 5 NM v horizontálnej rovine a 1000 stôp vo vertikálnej rovine. [9] Aj keď zodpovednosť spomínaných stredísk je riadenie lietadiel v traťovej fáze letu, ACC môže dodatočne vykonávať približovacie riadenie (APP - Approach Control), ktorej úlohou je navádzanie letov do oblasti letísk nazývanej koncová riadiaca oblasť (TMA – Terminal Manoeuvring Area). Táto oblasť je určená k bezpečnému priletavaniu a odlietavaniu lietadiel na/z letísk. Zatiaľ čo strediská ACC a UAC využívajú pre riadenie letovej prevádzky iba radarové zariadenia, riadenie letovej prevádzky



na letisku a v jeho okolí okrem radaru používa aj vizuálny kontakt z letiskovej riadiacej veže (TWR – Air Traffic Control Tower). [3]

Napriek tomu, že riadiaci letovej prevádzky sú obmedzovaní základnými striktnými pravidlami a postupmi, táto práca vyžaduje vysoký stupeň flexibility a vykonávania rozhodnutí. [10] Každé stredisko ACC má svoju jednotku riadenia toku (FMU/FMP - Flow Management Unit / Flow Management Position), ktorej plánovacou úlohou je vytvorenie D-2 plánu, čo je plán taktickej operácie vytvorený dva dni pred prevádzkou, vyhotovený na základe očakávaného dopytu a očakávaných obmedzení. S ďalšími nadobudnutými informáciami sa následne oznámi a publikuje D-1 plán jeden deň pred zahájením prevádzky. V deň prevádzky sa letiská a strediská adaptujú na usporiadávanie toku aktuálnej letovej prevádzky a regulujú počet letov vstupujúcich do vzdušného priestoru v prípade nedostatku kapacity. Kapacita letových prevádzkových služieb ATS je závislá na kapacitách jednotlivých sektorov, ich flexibilita, adaptabilnosti, konfigurácii vzdušného priestoru a rozdelení jednotlivých sektorov. Taktiež táto kapacita je závislá od operačných parametrov, ako napríklad počet dostupného personálu, taktické usporiadanie tokov letovej prevádzky, ale aj nepredvídateľných faktorov ako počasie. [5; 11]

Stredisko ACC je rozdelené do individuálnych sektorov, každý so schopnosťou riadenia určitého počtu letov za určitý časový interval, ktorý závisí na usporiadaní dopravy a komplexite prevádzky. Každý individuálny sektor obsluhuje tím personálu. Dohliadajúci strediska ACC môžu byť plánovači prevádzky pre celú oblasť rozdelenú do sektorov, toto záleží od organizačnej štruktúry strediska. [12] Dohliadajúci personál má na starosti pridelovanie pozícií jednotlivým riadiacim, sledovanie FMP a kontrolu dodržovania predpísaných postupov. Zodpovednosťou riadiacich jednotlivých sektorov je spolupráca so susednými sektormi, aby prechod lietadla z jedného sektoru do druhého prebehol bezproblémovo, s dostatočnými rozstupmi od ostatnej prevádzky a bez potenciálnych konfliktov. [5]

Väčšinou je každý individuálny sektor riadený dvoma riadiacimi letovej prevádzky, výkonný (executive controller) a plánovací (planning controller) riadiaci. [13] V prípadoch nízkej letovej prevádzky môže jeden riadiaci vykonávať prácu obidvoch pozícií. [3; 14] V nasledujúcej časti je výklad povinností a zodpovedností jednotlivých pozícií.



1.1.4 Výkonný riadiaci letovej prevádzky

Výkonný riadiaci letovej prevádzky pomocou radarového zariadenia sleduje aktuálnu situáciu letovej prevádzky a vydáva inštrukcie a povolenia pilotom pomocou rádiokomunikačných prostriedkov v oblasti jeho zodpovednosti. Výkonný riadiaci navádza lietadlá pomocou udeľovania vektorov, pre zaistenie stanovených rozstupov a poskytuje asistenciu pri smerovaní. [3]

Práca výkonného riadiaceho pozostáva z nasledujúcich činností: [3]

- Nastavenie zariadení pre zabezpečenie presnej radarovej reprezentácie, alebo povolenie zodpovedného personálu technickej údržby pre vykonanie príslušných opatrení
- Poskytovanie radarovej služby riadeným lietadlám
- Identifikácia lietadiel a udržiavanie ich identifikácie
- Usmerňovanie lietadiel pre zaistenie stanovených rozstupov a poskytovanie asistencie pri smerovaní
- Vydávanie povolení a pokynov tak, aby minimálne rozostupy neboli nikdy porušené
- Dokumentácia vydaných povolení, pokynov, koordinačných riešení a zachovanie ich aktuálnosti
- Monitorovanie priebehu letu
- Informovanie lietadla o neznámych cieľoch a nepriaznivých poveternostných podmienkach vyskytujúcich sa na obrazovke radaru. Pokiaľ je to nevyhnutné alebo možné podľa aktuálneho pracovného zaťaženia usmerniť lietadlo okolo takýchto oblastí ak je to žiadúce
- Dodržiavanie všetkých platných postupov a zohľadňovanie postupov pre níženie hluku
- Poskytovanie relevantných informácií pilotom súvisiacich s poveternostnými podmienkami a ostatnou prevádzkou
- V prípade zlyhania radarového zariadenia používanie bezradarových postupov pre udržanie rozstupov

Rozhodnutia výkonného riadiaceho letovej prevádzky majú prednosť pred rozhodnutiami plánovacieho riadiaceho, ale všetky povolenia a pokyny musia byť zdokumentované na letovom štítku (Progress Strip). V oblastiach TMA sú činnosti riadiacich letovej prevádzky ešte rozdelené do následných troch kategórií: [3]



- Pick-up controller (vyzdvihovací riadiaci)
- Feeder controller (podávací riadiaci)
- Departure controller (odletový riadiaci)

Riadiaci typu Pick-up prevezme let z príslušného sektoru ACC a prideli mu špecifické smery, rýchlosti a výšky letu v súlade s plánovanou približovacou sekvenciou. Následne riadiaci typu Feeder prevezme let od riadiaceho typu Pick-up, navedie lietadlo v plánovanej približovacej sekvencii do konečnej fázy približovania, vydáva povolenie na typ priblíženia podľa aktuálnych poveternostných podmienok a predá lietadlo riadiacim leteckej prevádzky na príslušnom letisku. Riadiaci typu Departure poskytuje radarové služby lietadlám, ktoré opustili vzdušný priestor ovládaný riadiacimi letiskovej veže a predá lietadlo príslušnému oblastnému riadiacemu letovej prevádzky. [3]

1.1.5 Plánovací riadiaci letovej prevádzky

Úloha plánovacieho riadiaceho letovej prevádzky je výpomoc výkonnému riadiacemu prostredníctvom koordinácie a plánovania pri predávaní letov z/do príslušných sektorov a oblastí pomocou predávania a získavania relevantných informácií. Ich úlohou je taktiež sledovanie očakávanej prevádzky a návrh riešení pre najefektívnejšie riadenie prevádzky. Práca plánovacieho riadiaceho letovej prevádzky pozostáva z nasledujúcich činností: [3]

- Získavanie a predávanie informácií relevantných pre zabezpečenie riadenia letovej prevádzky
- Vydávanie povolení príslušným riadiacim jednotkám
- Predávanie letov z/do príslušných sektorov
- Príprava na a sledovanie aktuálnej dopravnej situácie. V prípade potreby informovať výkonného riadiaceho o možných porušení minimálnych rozstupov letov
- Analýza a plánovanie očakávaného toku prepravy a následný návrh riešení pre zaistenie bezkonfliktného riadenia prevádzky
- Asistencia výkonnému riadiacemu pri udržovaní minimálnych rozstupov v prípade výpadku radarového systému
- Asistencia výkonnému riadiacemu v prípade výskytu mimoriadnej situácie
- Dokumentácia vydaných povolení, pokynov, koordinačných riešení a zachovanie ich aktuálnosti



1.1.6 Pracovní stanice řídicího letové prevádzky

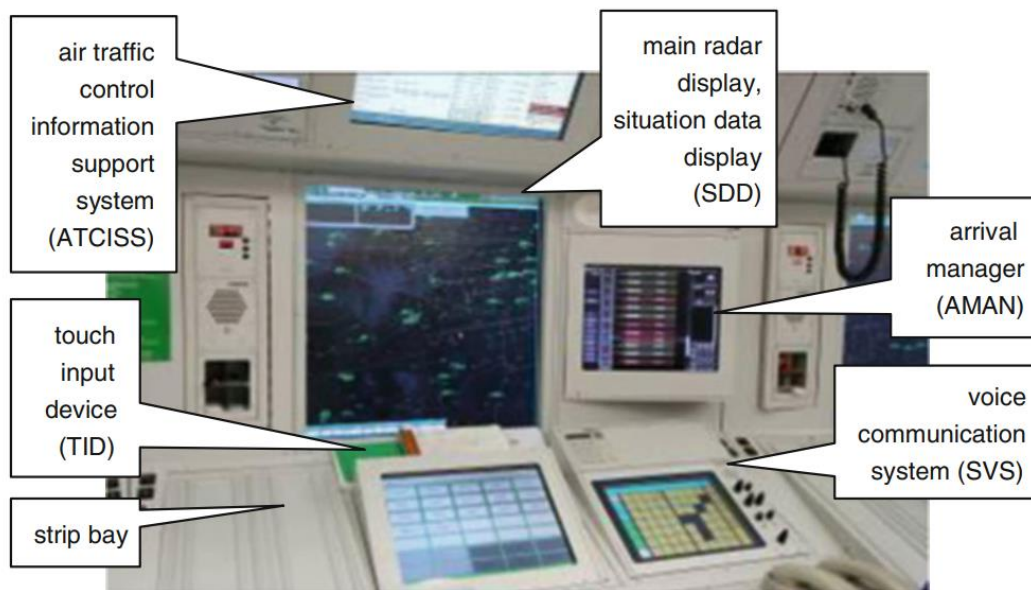
Pracovní stanice řídicího letové prevádzky, nazývané též jako pozície, sa líšia v Európe aj medzi individuálnymi strediskami, ale základné operačné parametre, dizajn pracovnej stanice a práca řídicího so stanicou je v podstate rovnaká. Každá stanica je obsluhovaná aspoň jedným řídicím pracovníkom. Obvykle je stanica obsluhovaná dvoma řídicími pracovníkmi, ale v prípadoch hustej prevádzky môže na stanici taktiež byť prítomný asistent, alebo dohliadajúci pracovník. Pracovníci majú pri obsluhu stanice jasne definované pracovné role a spoluprácou zaisťujú bezpečnú, usporiadanú a efektívnu letovú prevádzku. Obvykle řídicí sedia vedľa seba a vzájomná komunikácia prebieha verbálnou formou. [5]

Ako príklad pracovnej stanice řídicích letovej prevádzky bude použitá traťová stanica typu P1/ATCAS používaná poskytovateľom letových služieb v Nemecku Deutsche Flugsicherung (DFS). Obidvaja řídicí letovej prevádzky, výkonný řídicí a plánovací řídicí, majú vlastné radarové zobrazovacie zariadenie, ktoré zaisťuje prehľad o aktuálnej prevádzke v danom sektore a letové štítky, ktoré umožňujú organizáciu usporiadania, ale tiež plánovanie stratégie a zaznamenávanie kľúčových rozhodnutí. Stanica řídicích traťovej letovej prevádzky je zobrazená na Obrázok 2. Zvyčajne pozícia výkonného a plánovacieho řídicího je identická. Každý řídicí má k dispozícii obraz radaru, komunikačné zariadenia, rádiokomunikačné zariadenie pre komunikáciu s pilotmi a telekomunikačné zariadenie pre komunikáciu s ostatnými řídicími letovej prevádzky. Ďalej stanica obsahuje niekoľko podporných systémov, každý zameraný na špecifické funkcie náležité pre riadenie letovej prevádzky. [3]



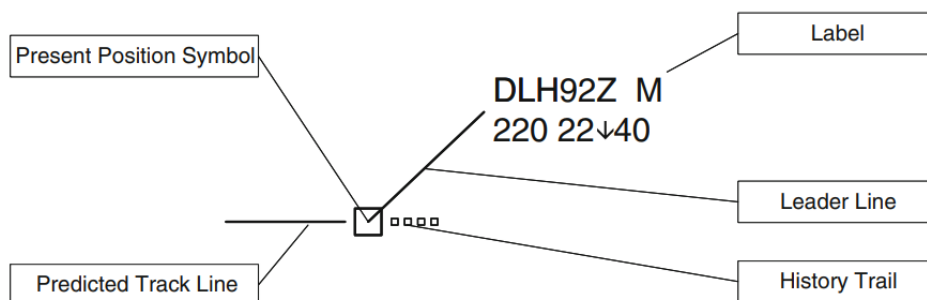
Obrázok 2 Traťová stanica typu P1/ATCAS používaná poskytovateľom letových služieb v Nemecku Deutsche Flugsicherung (DFS) [3]

Na Obrázok 3 je zobrazená pracovná pozícia riadiaceho letovej prevádzky zaisťujúceho príchody lietadiel. Stanica pozostáva z hlavného radarového displeju (Main Radar Display) a situačného displeja (SDD – Situation Data Display), ktoré slúžia na zaistenie priestorového povedomia o aktuálnej prevádzke vo vzdušnom priestore. Na stanici sa následne nachádza príletový manažér (AMAN – Arrival Manager), ktorý zaisťuje bezpečné a efektívne plánovanie, a usporiadanie a koordináciu jednotlivých lietadiel, ktoré do koncovej riadiacej oblasti TMA prilietajú z rôznych smerov. V spodnej pravej časti sa nachádza hlasový komunikačný systém (SVS – Voice Communication System) a v ľavej spodnej časti sa nachádza priestor na ukladanie letových štítkov, anglicky nazývaný Strip Bay. Pod radarovým displejom sa nachádza dotykové ovládacie zariadenie a nad radarovým displejom je podporný systém pre riadiacich letovej prevádzky (ATCISS - Air Traffic Control Information Support System), ktorého úlohou je zobrazovanie relevantných informácií potrebných pre zaistenie bezpečného a efektívneho riadenia letovej prevádzky. [3]

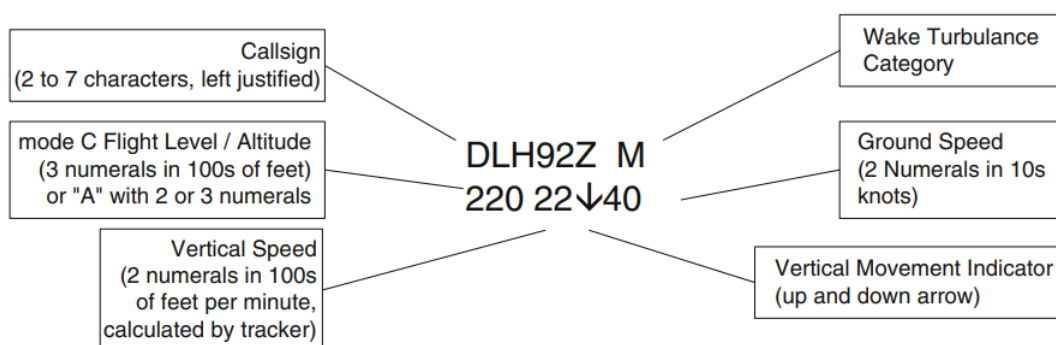


Obrázok 3 Pracovná pozícia riadiaceho letovej prevádzky zaisťujúceho prílety lietadiel [3]

Radarový display, ako už bolo spomenuté, slúži na zaistenie priestorového povedomia o aktuálnej prevádzke vo vzdušnom priestore poskytovaním dvojrozmerného obrazu pohybujúcich sa lietadiel v trojrozmernom priestore. Zobrazuje spracovaný výstup z primárneho a sekundárneho sledovacieho radaru. Každé lietadlo je reprezentované symbolom zobrazenom na displeji, ako je vidieť na Obrázok 4. Štvorcom je označená aktuálna poloha lietadla vo vzdušnom priestore, z ktorého vedie čiara smerom k príslušnému elektronickému formuláru lietadla. Pred polohou lietadla je predpokladaná čiara znázorňujúca smer letu a za polohou lietadla je bodovo reprezentovaná história polohy lietadla. Ako je zobrazené na Obrázok 5, elektronický formulár obsahuje základné informácie o lietadle. V prvom riadku je uvedený volací znak lietadla, vedľa ktorého je označenie príslušnej kategórie turbulencie v úplave. V druhom riadku sa nachádza aktuálna letová hladina uvádzaná trojčíselne v stovkách stôp, alebo môže byť taktiež uvádzaná s písmenom "A", ako "altitude" a následným dvojčiferným alebo trojčiferným číslom. Následne je zobrazená vertikálna rýchlosť lietadla, ktorá je uvádzaná dvojčiferným číslom v stovkách stôp za minútu. Vedľa vertikálnej rýchlosti lietadla sa nachádza šípka, ktorá reprezentuje stúpavý alebo klesavý trend zmeny vertikálnej polohy lietadla. Posledný údaj v druhom riadku elektronického formuláru je rýchlosť letu v závislosti od zeme, ktorá je uvádzaná dvojčiferným číslom v desiatkach uzlov. [3]



Obrázok 4 Ilustrácia elektronického formuláru letu na radarovom displeji riadiaceho letovej prevádzky [3]



Obrázok 5 Ilustrácia zobrazenia základných informácií letu v elektronickom formulári [3]

Skoro všetky elementy radarového zobrazenia si môžu individuálni riadiaci letovej prevádzky prispôbiť podľa aktuálnych potrieb pre ich sektor vzdušného priestoru, napríklad zväčšenie elementov, tvar označenia polohy lietadla, spôsob zobrazenia histórie polohy letu, zobrazenia predpokladaného smeru letu a informácií, ktoré sú uvedené v elektronickom formulári každého lietadla. [3]

Moderné radarové displeje obsahujú aj dodatočné typy informácií, ktoré sú nápomocné pre riadiaceho letovej prevádzky. Informácie ako mapa sektoru, ktorá zobrazuje letové trate, hranice sektoru, pozície pozemných navigačných systémov, vzletovo-príletových dráh, oblasti obmedzeného vzdušného priestoru, geografické informácie, počasie a rôzne iné. Výpočtové systémy ako napríklad dynamické časti letu, známe ako dynamic flight legs, STCA (Short Term Conflict Alerts), MTCD (Medium Term Conflict Detection), príletové manažéri (AMAN) a iné môžu byť tiež implementované. [3]



1.1.7 Letové štítky

Dnes už len malé množstvo stredísk zaisťujúce riadenie letovej prevádzky stále využíva predtlačené papierové letové štítky, ktoré umožňujú riadiacim letovej prevádzky sledovať jednotlivé lety v ich zodpovedajúcom vzdušnom priestore. Papierové štítky sú uložené do plastových držiakov, ktoré sú následne umiestnené na panel, ktorý ich udržuje v zvolenom poradí. [15] Individuálni riadiaci si určujú sami spôsob usporiadania letových štítkov. Usporiadanie papierových letových štítkov reprezentuje osobný prehľad riadiaceho letovej prevádzky v príslušnom sektore vzdušného priestoru. Riadiaci zapisujú údaje na papierové letové štítky normovaným spôsobom pomocou symbolov a skratiek, ktorým rozumejú aj ostatní riadiaci. [16] Zapisovanie informácií do letových štítkov, ich organizácia a usporiadanie na paneli pre letové štítky pomáhajú riadiacim so zapamätaním informácií a vytvorenie mentálneho obrazu o letovej prevádzke vo vzdušnom priestore. Na letových štítkoch je možné vidieť údaje o úmysloch, zámeroch a plánoch riadiacich a pilotov spolu s ich nedávnymi úpravami. Letové štítky pomáhajú riadiacim s riešením komplexných situácií v príslušnom vzdušnom priestore. [3]

Vo väčšine strediskách letovej prevádzky boli papierové letové štítky nahradené počítačovými systémami a zariadeniami. Niektoré systémy používajú digitálnu reprezentáciu papierových letových štítkov zobrazených na obrazovke spolu so zariadením pre dotykový vstup, kde riadiaci pomocou špecializovaného pera zapisujú informácie ručne na digitálne letové štítky. Moderné systémy využívajú zariadenia a funkcie, ktoré menia spôsob práce riadiaceho letovej prevádzky od základov. Tieto digitálne systémy poskytujú podporu riadiacim letovej prevádzky pomocou implementácie rôznych nástrojov a techník pri strategických a taktických rozhodnutiach. [3]

Digitalizácia papierových letových štítkov zabrala viac ako desaťročie, pretože papierové letové štítky majú veľa funkcií, ktoré počítačový systém nie je schopný replikovať. Predanie lietadla dnes prebieha pomocou počítačového spojenia medzi jednotlivými stanoviskami, ale tento pojem vznikol z fyzického podania letového štítka medzi dvoma riadiacimi letovej prevádzky v susedných sektoroch, ktorých stanice sa nachádzali vedľa seba ako je možné vidieť na Obrázok 6. [3] Na spomínanom obrázku spolupracujú traja riadiaci letovej prevádzky, za ktorými sa nachádzajú dvaja riadiaci obsluhujúci susedný sektor. [17]



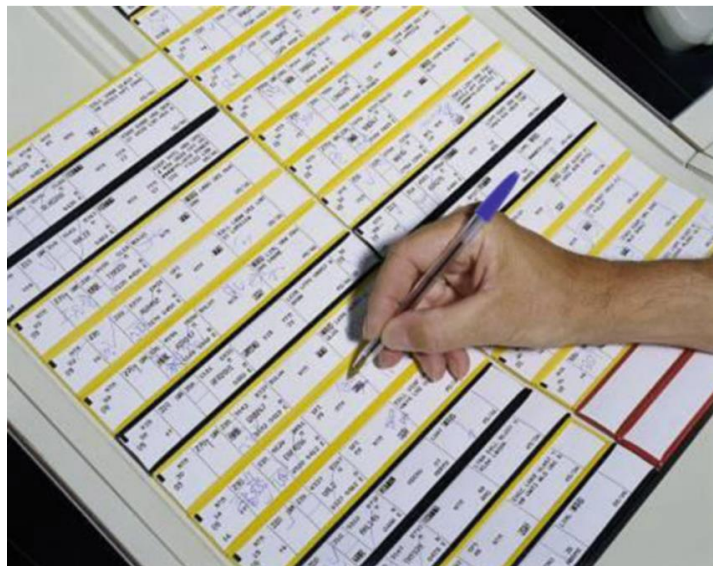
Obrázok 6 Kolaborácia riadiacich letovej prevádzky v stredisku v Athis Mons [17]

Výskum v oblasti letových štítkov sa sústreďí na nahradenie papierových letových štítkov mnohými spôsobmi, zníženie počtu letových štítkov alebo ich úplná eliminácia, modifikácia panelov, kde sú štítky ukladané, vývin elektromechanických letových štítkov, vytvorenie štandardných monitorov, zariadení s dotykovým vstupom, prenosných osobných digitálnych asistentov a displejov so špeciálnymi perami. [3]

1.1.8 Papierové letové štítky

Papierové letové štítky sú jednoduchý na použitie a efektívny spôsob ako zaistiť bezpečnú a usporiadanú letovú prevádzku a individuálna forma manipulácie riadiacich so štítkami je jednoducho adaptabilná. [3] Aj keď je toto riešenie efektívne, hlavnou nevýhodou papierových letových štítkov je nemožnosť ich zapojenia do počítačového systému. [18] Napriek tomuto nedostatku sa stále papierové letové štítky využívajú vo vojenskom letectve a aj v niektorých strediskách poskytujúcich službu riadenia letovej prevádzky vďaka ich jednoduchej vlastnosti zápisu letových informácií na papier. [13; 3] Tento papier zároveň slúži ako oficiálny zápisový dokument vydaných povolení a pokynov, čo umožňuje oboznámenie ostatných pracovníkov o aktuálnej situácii vo vzdušnom priestore, hlavne pri predaní riadenia letu inému riadiacemu letovej prevádzky. [19] Papierový štítok je umiestnený na plastový držiak, ktorého farba má zvyčajne význam. Pre umiestnenie plastových držiakov s papierovými letovými štítkami je využívaný panel zobrazený na Obrázok 7, ktorý obsahuje všetky aktuálne lety v príslušnom sektore. Tento panel taktiež pozostáva

z vertikálnych drážok, ktoré umožňujú skladanie letových štítkov do stĺpcov. Pozícia jednotlivých letových štítkov je dôležitá, riadiaci letovej prevádzky v strediskách oblastného riadenia (ACC) a koncovej oblasti riadenia (TMA) usporadúvajú letové štítky podľa pristávacej sekvencie prilietajúcich lietadiel. Priestorové rozloženie letových štítkov na paneli reprezentuje rozdiely medzi jednotlivými skupinami lietadiel podľa zdieľaných vlastností. Rozdelenie letových štítkov do jednotlivých stĺpcov môže napríklad reprezentovať, či sa lietadlo nachádza na zemi, na vzletovo-pristávacej dráhe alebo vo vzduchu. Každý stĺpec panelu sa môže ešte rozdeliť pomocou takzvaných označovacích štítkov (Designator Strip), ktorý dodatočne obsahuje relevantné informácie o príslušných letových štítkoch. Dostupné sú aj špeciálne štítky, ktoré môžu indikovať údaje ako napríklad špeciálny stav vzdušného priestoru, prítomnosť fyzickej obštrukcie alebo vozidla v oblasti letiska. [3]



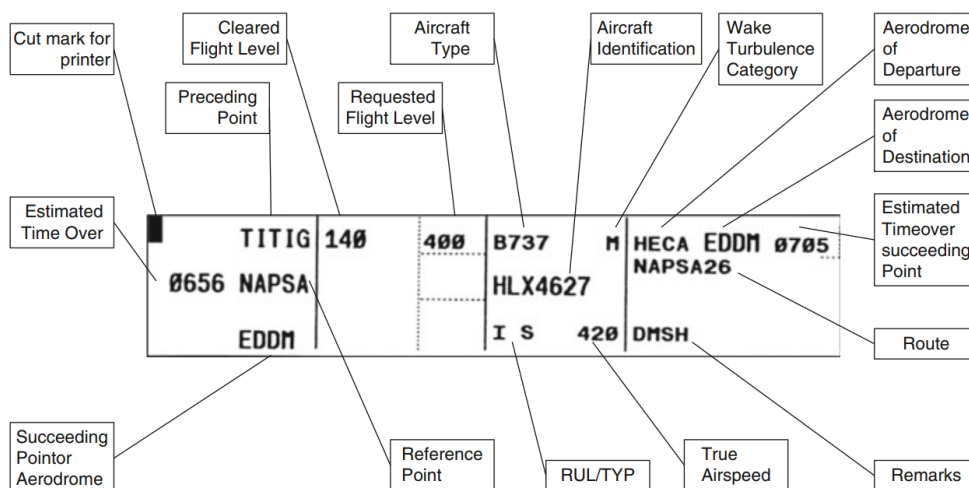
Obrázok 7 Panel pre ukladanie papierových letových štítkov [3]

Existuje veľa štýlov prevedenia papierových letových štítkov, ale napriek malým rozdielom, každý štítkok obsahuje aspoň nasledujúce informácie: [3]

- Volací znak lietadla (Call Sign)
- Typ lietadla označený štvorpísmenným ICAO označením (napríklad B744 pre typ lietadla Boeing 747-400)
- Pridelená letové hladina
- Letisko odletu a príletu
- Aspoň jedno štvorciferné číslo zaznačeného času

- Plánovaná trať
- Ostatné parametre je možné pridať podľa potreby

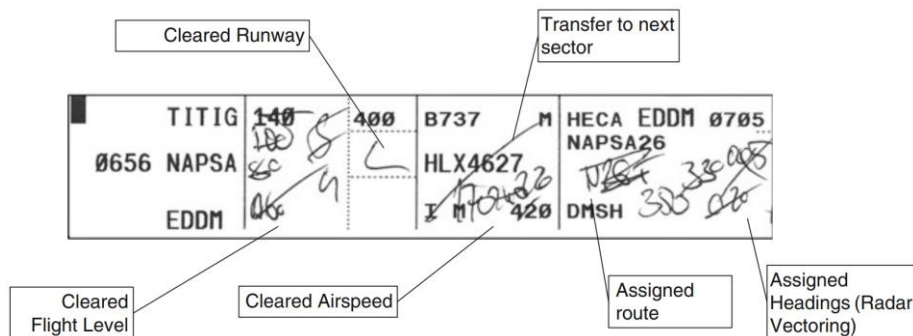
Príklad papierového letového štítku na približovacom riadení v Mníchove je zobrazený na Obrázok 8, kde sa v prvom stĺpci a prvom riadku nachádza bod vstupu do vzdušného priestoru (TITIG), v druhom riadku sa nachádza referenčný bod (NAPSA), odhadovaný čas preletu bodu (0656), čo indikuje čas 06:56 a v poslednom riadku sa nachádza letisko priletu (EDDM), označenie letiska Mníchov. V druhom stĺpci je označená povolená letová hladina (140) a vedľa vyžiadaná letová hladina (400). V treťom stĺpci sa nachádza typ lietadla (B737), v tomto prípade Boeing 737, kategória turbulencií v úplave (M), volací znak lietadla (HLX4627), pravidlá podľa ktorých sa lietadlo riadi (I S) a skutočná rýchlosť lietadla (420). V poslednom stĺpci je letisko odletu (HECA), označenie Letiska Cairo a odhadovaný čas preletu nasledujúceho bodu (0705), čo indikuje čas 07:05. V druhom riadku sa nachádza letová trať priblíženia k letisku (NAPSA26) a v spodnej časti sú označené dodatočné poznámky (DMSH). [3]



Obrázok 8 Príklad papierového letového štítku na približovacom riadení letiska Mníchov [3]

Informácie obsiahnuté v letovom štítku môžu byť niekedy upravené na poslednú chvíľu, napríklad v prípade vyžiadania zmeny pilotom, alebo vydania povolenia riadiacim letovej prevádzky. O týchto zmenách môže riadiaci predošlého sektoru informovať riadiaceho následného sektoru, ktorý tieto údaje ručne zadá na svojej stanici. Akonáhle sa lietadlo zobrazí na obrazovke radaru príslušného riadiaceho, čiže sa fyzicky nachádza v jeho sektore, preberá zodpovednosť za tento let. [5]

Riadiaci letovej prevádzky dokumentujú jednotlivé vydané povolenia na papierový letový štítok, ako je možné vidieť na Obrázok 9. V druhom stĺpci je možné vidieť jednotlivé letové hladiny, ktoré boli pridelené lietadlu pri prilete a či lietadlo uvoľnilo priestor vzletovo-pristávajúcej dráhy (L). V následnom stĺpci je možné vidieť jednotlivé povolené rýchlosti a že lietadlo bolo predané do riadenia ďalšieho sektoru. V poslednom stĺpci sa nachádzajú jednotlivé pridelené smery letu, taktiež označované ako radarové vektorovanie lietadla a pridelená trať letu. [3]



Obrázok 9 Príklad dokumentácie jednotlivých povolení na papierovom letovom štítku na približovacom riadení letiska Mníchov [3]

Štandardný spôsob zapisovania informácií na papierový letový štítok v rámci strediska riadenia letovej prevádzky je esenciálny, pre vzájomné porozumenie medzi riadiacimi. Veľkú časť práce s letovými štítkami reprezentuje rýchle vizuálne skenovanie panelov, čo môžu obmedziť aj malé nezrovnalosti. Je veľmi dôležité kde riadiaci letovej prevádzky zapisuje individuálne informácie na letovom štítku, nakoľko čo aj len zápis smeru letu do sekcie s rýchlosťou letu môže viesť k nedorozumeniu a následnému zmäteniu. Papierové letové štítky reprezentujú poväčšine iba statické dáta, ani dynamicky vypočítavané dáta nemôžu byť automaticky aktualizované na papieri. Pre konštantnú aktualizáciu informácií na papierovom letovom štítku riadiaci musia vždy pracovať s perom, aby aktuálne zmeny vždy ručne dokumentovali. [1; 20]

Aj napriek značným nedostatkom papierových letových štítkov sú široko využívané v mnohých strediskách riadenia letovej prevádzky. Štúdie definujúce prácu s papierovými letovými štítkami poukazujú na niekoľko fyzických vlastností, ktoré nie je možné digitálne zastúpiť. Písanie poznámok, symbolov a ich voľnosť pohybu v priestore, napríklad uloženie trochu mimo dezignované miesto pre zvýraznenie potenciálneho konfliktu, alebo vzájomného ukazovania štítkov sú dôležité dispozície pri riadení letovej prevádzky. Možnosť zapisovania



špeciálnych charakterov perom na papier značne zvyšuje flexibilitu papierových letových štítkov. Papierové letové štítky sa vyvinuli z jednoduchej pomôcky na veľmi komplexný nástroj pre riadenie letovej prevádzky. [1]

1.2 Rozhranie človek-počítač (HCI)

Pre digitalizáciu letových štítkov je potrebné, aby boli splnené primerané požiadavky pri interakciách s počítačovým systémom. Týmto interakciám medzi systémom a človekom sa venuje odbor rozhrania človek-počítač. Odbor rozhrania medzi človekom a počítačom pozostáva z dvoch základných vedeckých odborov - ergonómia a ľudský činiteľ. Ľudský činiteľ je vedecký študijný odbor, ktorého zámerom sú schopnosti človeka, jeho limitácie, výkonnosť a jeho interakcie s dizajnom systému, ktorý je efektívny, bezpečný a pohodlný na použitie. [21] Odbor rozhrania medzi človekom a počítačom sa zameriava na širokú škálu aplikácií pomocou využitia poznatkov z rôznych disciplín, ako napríklad psychológia, ergonómia, počítačová veda a grafický dizajn. [22]

Spočiatku bolo zámerom rozhrania človek-počítač sledovanie kvality, efektívnosti a účinnosti grafického užívateľského prostredia (GUI). Pozorovalo sa, ako presne a rýchlo dokáže človek interagovať s grafickým užívateľským prostredím. Klasickým príkladom predmetu štúdie rozhrania človek-počítač je dizajn menu. Menu reprezentuje užívateľovi možnosti hodnôt, z ktorých si môže vybrať, namiesto manuálneho vkladania hodnoty do systému. Vyberanie hodnoty z ponúknutého listu vyžaduje rozpoznanie hodnoty, čo je preferované pred vkladáním hodnoty, ktorú užívateľ musí vygenerovať. Jedným problémom z voľby hodnoty z ponúkaného menu je organizácia zahrnutých možností. Pokiaľ je ponúkaných hodnôt vyšší počet, vzniká otázka, ako hodnoty v ponúkanom liste organizovať, nakoľko dostupná grafická plocha menu je obmedzená. Dlhodobý výskum sa zaoberá napríklad nasledujúcimi problematikami: [21]

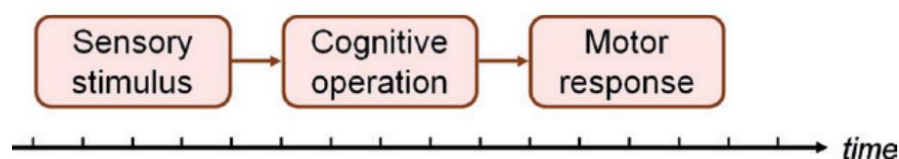
- efektívnosť rozdelenia menu do viacerých menších častí, čiže pridať element hĺbky do dizajnu
- usporiadanie položiek listu alfabeticky alebo podľa funkcie
- vplyv prítomnosti názvov jednotlivých listov
- vplyv zobrazenia grafickej ikony na prácu so štítkom
- rozdielne reakcie ľudí rôznych vekových skupín na jednotlivé dizajny listov
- vplyv zvukovej odozvy na používateľnosť
- vplyv grafického dizajnu pri používaní menu

Dizajn systému je veľmi variabilný. Primárnym faktorom pri vývoji dizajnu užívateľského prostredia je skupina ľudí, ktorý budú interagovať s užívateľským prostredím. Okrem výkonnosti a efektívnosti užívateľského prostredia sa ľudský faktor zaoberá problematikou robenia chýb pri interagovaní s prostredím. Dôležitým aspektom definície chýb pri interakciách je ich zaznamenávanie a kategorizovanie. [21]

Primárna interakcia s užívateľským prostredím prebieha pomocou horných končatín. Prstami a rukami človek interaguje so systémom pomocou využitia klávesnice, myši, stláčania tlačidiel, dotykových obrazoviek, konzol a gest. Pohyb končatín je úzko spojený so zmyslovou sústavou, teda so zrakom, sluchom a hmatom. Príkladom je uchopenie počítačovej myši bez vizuálneho kontaktu a písanie na klávesnici bez pozerania sa na jednotlivé tlačidlá. [21]

1.2.1 Kognitívna funkcia

Kognitívna funkcia človeka, tiež známa ako poznanie, je ľudský proces vedomej intelektuálnej aktivity, ako napríklad uvažovanie, odôvodňovanie a rozhodovanie. Kognícia spadá pod mnohé vedecké oblasti, od psychológie po neurológiu a existuje niekoľko pohľadov na túto problematiku. Na rozdiel od zmyslových fenoménov, ktoré sa dajú pozorovať vo fyzickom svete, kognícia sa vyskytuje v ľudskom mozgu, čo predstavuje komplikácie pri jej štúdiu. Sledovanie kognitívnych procesov je ohraničené predstavovaním zmyslových stimulov a sledovania motorických odpovedí organizmu, ako je znázornené na Obrázok 10. Pomocou sledovateľných elementov ako sú zmyslové stimuly a motorické reakcie je možné zhruba pozorovať kognitívne operácie. Čas medzi vnemom prezentovaného stimulu a následnou motorickou reakciou nie je intervalom kognitívneho procesu, nakoľko aj tieto jednotlivé operácie vyžadujú určitý časový interval. [21]

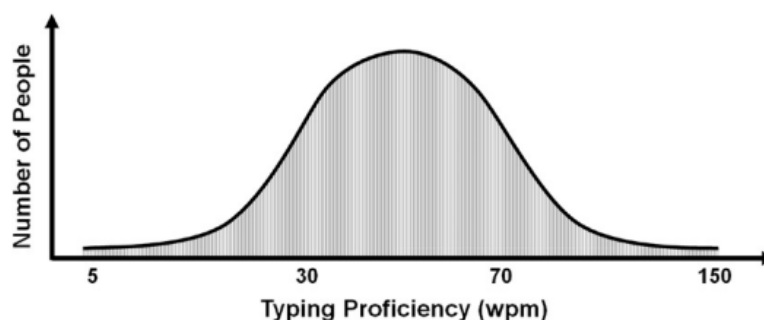


Obrázok 10 Kognitívne operácie v kontexte reakčného času [21]

1.2.2 Ľudská výkonnosť

Ľudia využívajú zmysly, mozog a reakcie pre vykonávanie úloh. Pokiaľ tieto tri faktory spolupracujú pre vykonanie určitého činu, ľudská výkonnosť sa zvyšuje. Vyššia ľudská výkonnosť je typicky spojovaná s rýchlejším a presnejším vykonávaním úloh, ale vedie k zásadnej vlastnosti kompromisu medzi rýchlosťou a presnosťou. Pokiaľ sa vykonávanie úloh zrýchli, chybovosť sa zväčší a naopak pomalšie vykonávanie úloh zlepšuje presnosť. Jednou zo zásadných ľudských vlastností zdravého rozumu je, že inštinktívne spomalí tempo, aby bolo možné predchádzať chybám. Dôležitou časťou výskumu nového užívateľského prostredia a interakcií s ním je nevyhnutnosť koncentrácie nie len na rýchlosť, ale aj presnosť. [21]

Prirodzenou vlastnosťou je nastavenie kompromisu rýchlosti a presnosti tak, aby vykonávanie úloh bolo pohodlné a konzistentné. Kontext situácie predstavuje dôležitú rolu v tejto problematike so schopnosťami a limitami zmyslov, mozgu a reakcií. Jednotliví užívatelia prostredia sa líšia medzi sebou, čo prináša nepresnosti a neistoty pri vývoji. Niektorí užívatelia vykonávajú úlohy lepšie ako druhí a to môže ovplyvňovať aj kontext prostredia, v ktorom sa nachádzajú. Aj pri rovnakej sústredenosti a ľudskej výkonnosti sa pri opakovaných sledovaniach užívateľov pravdepodobne budú výsledky odlišovať. Odlišnosť výkonnosti jednotlivcov sa niekedy ilustruje pomocou distribúcie normálneho rozdelenia, ako je zobrazené na Obrázok 11, ktoré vyjadruje rýchlosť písania slov na klávesnici za minútu na horizontálnej osi a množstvo jedincov schopných daného výkonu na vertikálnej osi. Je možné vidieť, že väčšina testovacích subjektov spadá do strednej časti rozdelenia. [21]



Obrázok 11 Distribúcia reprezentujúca normálne rozdelenie schopnosti písania slov na klávesnici podľa počtu subjektov [21]



1.2.3 Vzťah medzi vstupom a vizualizáciou

Správny vzťah medzi interakciou užívateľa a následnou vizualizáciou je niečo, o čom užívateľa často neuvažujú. Pri správnej implementácii rozhrania človek-počítač interakcia užívateľa a následná odozva systému by mala prebiehať prirodzene, bezproblémovo, intuitívne a efektívne. Vzťah medzi užívateľským vstupom a vizualizáciou na zobrazovacom zariadení sa taktiež nazýva mapovanie, pretože vstup užívateľa priamo reprezentuje zobrazený výstup. [21]

1.2.4 Vývoj zameraný na užívateľa

Zapojenie užívateľov alebo zákazníkov je dnes rutinná činnosť pri tvorbe a vývoji užívateľského prostredia. Pre vývoj efektívneho užívateľského prostredia je nutné zväziť potreby užívateľov, ale taktiež podrobiť jednotlivé prototypy vyhodnocovaniu. Dokumentácia dizajnu, tréning, inštalácia a užívateľská podpora sú všetko neoddeliteľné časti vývoja nového prostredia. [23; 24] Pri implementácii rozhrania človek-počítač je zapojenie ľudského elementu dôležitejšie, ako samostatný zámer na laboratórne testy. Iteratívny vývoj sa práve špecifikuje na objavovanie nových cieľov a testovanie nových riešení v spolupráci s koncovými užívateľmi. [22] Vývoj nového užívateľského prostredia vyžaduje tri základné etapy. Prvou etapou je stanovenie cieľov, ktoré má užívateľské prostredie efektívne vykonávať. Táto etapa zahŕňa vytvorenie prvého prototypu, jeho testovanie a následné vyhodnotenie. Druhou etapou je rozšírenie rozhladu dizajnu a návrh alternatívnych spôsobov a techník interakcie. V tejto etape užívateľ priamo zasahuje do vývoja následných riešení a neslúži iba ako testovaný subjekt pri vyhodnocovaní efektivity. Navrhnuté riešenia sú charakterizované potrebami užívateľa a nazývané tiež ako kontextový dizajn. Tretia etapa je zameraná na nákladovú efektívnosť, nakoľko početné opakovanie cyklov tvorby, testovania a vyhodnocovania nových dizajnových riešení je ekonomicky a časovo nákladné. Preto pri vývoji užívateľského prostredia je dôležité zvoliť správny set dostupných nástrojov pre zaistenie efektívneho priebehu. [21]

1.2.5 Grafické užívateľské prostredie (GUI)

Grafické užívateľské prostredie (Graphical User Interface) zahŕňa všetky digitálne elementy s ktorými užívateľ interaguje pri používaní zariadenia. GUI je označenie pre grafické prostredie, všetky menu, ikony a digitálne tlačidlá, ktoré sa nachádzajú na obrazovke systému. Implementácia grafického užívateľského prostredia musí obsahovať všetky elementy



pre interakciu so systémom, ktoré užívatelia potrebujú. [25] Grafické užívateľské prostredie musí byť prispôsobené celkovému médiu, v ktorom je integrované a jeho úlohou je zjednodušenie práce s ostatnými prítomnými elementami systému. Dôležitým aspektom užívateľského prostredia je konzistencia pre zjednodušenie práce so systémom. [22]

Dizajn užívateľského prostredia by mal byť dostupný aj pre nových alebo neskúsených užívateľov bez nutnosti tréningu pre jednoduché a okamžité použitie. Užívateľ by mal byť schopný používať základné a jednoduché funkcie bez predchádzajúco získaných vedomostí. Dosiachnutie týchto schopností je možné limitovaním dostupných funkcií, ktoré zariadenie dokáže vykonávať, prezentáciou štítkov, tvarov a poskytovaním jasnej spätnej väzby. [25]

1.2.6 Užívateľská skúsenosť (UX)

Užívateľská skúsenosť (User Experience) je označenie pre všetky pocity a dojmy pri interagovaní s užívateľským prostredím. UX nie je možné navrhnuť alebo vytvoriť. [26] Elementy, ktoré tvoria užívateľskú skúsenosť sú užitočnosť, použiteľnosť a emočný dopad na užívateľa, a to nie len v čase interakcie s prostredím, ale aj vo forme spomienky po ukončení interakcie. Užitočnosť reprezentuje funkčnosť a schopnosti zariadenia. Umožňuje užívateľom dosiahnutie niečoho, čo by bez zariadenia nebol schopný vykonať. Napríklad dokumentácia hodnoty do elektronického traťového štítku bez straty vizuálneho kontaktu s radarovou obrazovkou, ako pri používaní papierového letového štítku. Použiteľnosť reprezentuje praktický element grafického prostredia, ktoré umožňuje jednoduchý prístup, efektivitu a schopnosť zachovania ovládania v pamäti. Emočný dopad pozostáva z pocitov užívateľa, ktorý systém vyvoláva. Tieto pocity sú napríklad dôvera, spoľah, pôžitok, estetika a pôvab. [25]

1.3 Kľúčové zásady vytvárania užívateľského prostredia

Vývoj dizajnu je kontinuálne robenie kompromisov. Každý navrhnutý dizajn obsahuje výhody a nevýhody, jedno dobré rozhodnutie môže viesť k vytvoreniu ďalšej prekážky. [25]

Jednou zo zásad pri vytváraní užívateľského prostredia je podpora mentálneho modelu. To znamená porozumenie účelu systému a ako má fungovať. Napomôcť mentálnemu modelu môže viditeľná, jednoduchá a porozumiteľná organizácia užívateľského prostredia. Čím je interakcia s prostredím jednoduchšia, tým viac pomáha rýchlemu a efektívnemu



vytvoreniu mentálneho modelu užívateľa. Dve dôležité vlastnosti prostredia sú objaviteľnosť, ktorá pomáha užívateľovi nájsť, čo hľadá a zrozumiteľnosť, či užívateľ porozumie ako prostredie funguje. [25]

Ďalšou zo zásad je alokácia úloh, to znamená, ktoré výkony uskutočňuje systém a ktoré úkony uskutočňuje užívateľ. Ľudia sú schopní kreatívneho myslenia, plánovania a adaptovať sa na neočakávané situácie, ale v oblasti komplexných výpočtov, pamätania si informácií a opakujúcich sa procesov sú neefektívni. Počítače sú na druhú stranu schopné efektívne vykonávať komplexné výpočty, opakované procesy, zapisovať a hľadať informácie, ale nie sú schopné kreatívneho myslenia. Alokáciou úloh je potrebné správne rozdeliť procesy medzi užívateľov a počítače. [25]

Konzistencia, ako bolo už spomenuté, je dôležitým elementom pre redukciu zmätenia a zefektívnenie učenia. Medzi tieto prvky patrí implementácia podobných procesov pre vykonávanie rôznych funkcií, konzistentné využitie farieb v celom prostredí, využitie grafických ikon a integrácia zrozumiteľného ovládacieho prostredia. [25]

Znižovanie mentálnej záťaže je dôležité pre zachovanie pozornosti užívateľa. Systém by mal byť usporiadaný tak, aby si užívateľ nemusel pamätať priveľa informácií, ale mal k nim prístup, keď ich aktuálne potrebuje. [25]

Ďalšou zásadou je poskytovanie informatívnej spätnej väzby. Spätaná väzba by mala byť konzistentná, poskytovať informácie o aktuálnych procesoch a informovať užívateľa o statuse zariadenia. Spätaná väzba by mala obsahovať všetky potrebné informácie pre užívateľa k jasnému pochopeniu aktuálnej situácie. [25]

Vykonávanie úlohy by malo byť čo najefektívnejšie. Jednotlivé kroky pre vykonanie funkcie by mali byť čo najviac minimalizované a oslobodené od nepodstatných úkonov. [25]

Aplikáciou minimalistického dizajnu je možné zaistiť prítomnosť iba relevantných informácií v danom čase. Zoskupovanie jednotlivých funkčne podobných objektov a zjednodušovanie komplexných inštrukcií do jednoduchých krokov zefektívni interakciu s užívateľským prostredím. [25]

Poslednou zásadou je prevencia chýb a ich spracovávanie. Primárnym účelom zariadenia je obmedzenie výskytu chýb a upozorniť o nich užívateľa. Skoro vždy by mala byť implementovaná schopnosť návratu stavu systému v prípade, že sa chyba vyskytne.



Táto funkcia je dôležitá pre zvyšovanie dôvery užívateľa a povzbudzovania ku kontinuálnemu zoznamovaniu sa s prostredím. [25]

1.4 Digitalizácia letových štítkov

Digitalizácia papierových letových štítkov je značne kontroverznou témou v dnešnom prostredí. Rozsiahly výskum na univerzite v Oklahome v USA poukázal na rozsiahle neužitočnosti papierových letových štítkov, hlavne v situáciách s veľkou komplexnosťou letovej prevádzky vo vzdušnom priestore. Pri prevádzkach s veľkou komplexnosťou riadiaci letovej prevádzky venovali značný podiel času aktualizáciou informácií na štítkoch, pričom vyjadrili podnet, že tieto úkony vyčleňujú pozornosť od ich primárnej úlohy, sledovanie radarovej obrazovky a aktuálnej prevádzky vo vzdušnom priestore. Podľa vyjadrenia väčšiny zapojených riadiacich do štúdie je radar ich primárnym nástrojom pri riadení letovej prevádzky a že práca s papierovými letovými štítkami nie je dostatočne časovo efektívna. [1]

Postupne zvyšujúci sa počet stredísk riadenia letovej prevádzky adaptuje využitie digitalizácie pre automatizáciu procesov pri práci s letovými štítkami. [27] Táto adaptácia viedla aj k niektorým nevydareným pokusom implementácie, nakoľko digitalizácia papierových letových štítkov sa ukázala ako neúspešná, nakoľko funkčné procesy práce s letovými štítkami neboli zvažované. [1]

Aktualizácia systémov pre riadenie letovej prevádzky je zložitá z dôvodu, že aktuálne systémy sú veľmi bezpečné. Zameraním na nové nástroje, ktoré zvyšujú efektivitu práce riadiacich leteckej prevádzky, nesmie byť znížená hranica bezpečnosti. Podporné nástroje v kritických situáciách by nemali negatívne vplyvať na pozornosť riadiaceho počas obdobia s nízkou prevádzkou. Riadiaci letovej prevádzky sa adaptovali na vylepšenia v oblasti radarového zobrazenia relatívne jednoducho na rozdiel od zmien v letových štítkoch. Jedným z dôvodov je, že nikto sa nepokúšal odstrániť radarové zobrazenie, ale väčšina predstavených riešení letové štítky nahrádzujú, alebo ich iba elektronicky simulujú. História automatizácie je plná príkladov drahých počítačových systémov, ktoré buď redukovali užívateľskú produktivitu, alebo boli vyradené úplne. Návrhy technologických riešení boli hlavne ovplyvňované porozumením oficiálnych pravidiel riadenia letovej prevádzky a dokumentáciami ICAO, ktoré rozdelili prácu riadiacich do jednotlivých sekvencií diskretných a racionálnych úkonov. Spomínané diskretné a racionálne úkony sú základom semi-automatizácie a automatizácie. Vývojári obvykle odlišujú individuálne úkony a zodpovednosti každého riadiaceho letovej prevádzky, čo umožňuje zjednodušenie softvérového prostredia, ale taktiež vymedzuje



kooperatívny charakter ich práce. Koordinácia prebieha ako diskretná rola, na rozdiel od kooperatívnych vzájomne zasahujúcich aktivít. [17]

Kognitívna ergonómia je disciplína, ktorá sa venuje problematikou ľudského faktoru pri vyvíjaní nových systémov. Opisuje prácu riadiaceho letovej prevádzky ako sériu kognitívnych úloh s určitými cieľmi. Pomocou opisu úkonov riadiacich sa vytvorí model na základe kognitívnej psychológie o rozhodovacích procesoch a analýze ľudských chýb. Rola modelov kognitívnej ergonomie slúži pre vyzdvihnutie požiadavkou a technických podmienok pre vývojárov pri vývoji nového počítačového systému. Dôležitá časť výskumu je analýza chýb riadiacich letovej prevádzky a presadenie zmien v procesoch riadenia pre zvýšenie bezpečnosti prevádzky. [17]

Sociológia, na druhú stranu, je disciplína, ktorá sa venuje sociálnemu a historickému kontextu práce. Kontext práce je podklad pre porozumenie činností riadiacich letovej prevádzky a funkcií letových štítkov. Napríklad v situáciách so zvýšenou letovou prevádzkou riadiaci majú tendenciu menšej vzájomnej komunikácie a skôr píšú na papierové letové štítky. [17]

Každá zo spomínaných perspektív má svoje nevýhody. Sústredenie vývojárov je primárne na benefity a schopnosti, ktoré nový systém prinesie, ale je komplikované vyhodnotiť skryté bezpečnostné prvky obsiahnuté v existujúcom systéme. Cieľom kognitívnej ergonomie je nájsť a zabrániť chybám, čo môže mať za následok znehodnotenie úspešných pracovných techník a podcenenie rizika ich úprav. Sociológia by mohla prispieť zaujímavými náhľadmi na prácu riadiacich letovej prevádzky, ale až na pár výnimiek, veľmi zriedka by ovplyvnila dizajn systému. [17]

Ďalšou z dôležitých perspektív je názor riadiacich letovej prevádzky, ktorí pracujú s papierovými letovými štítkami. Papierové letové štítky sú flexibilné, umožňujú riadiacim letovej prevádzky jednoducho sa prispôbiť aktuálnym administratívnym zmenám a predpisom. Dôležitým aspektom papierových letových štítkov je ich spoľahlivosť. Na rozdiel od počítačov, telefónov a radarov nie sú náchylné k výpadkom. Riadiaci letovej prevádzky vyjadrujú svoj nesúhlas byť vstupným zariadením do počítačového systému, z ktorého benefitmi nie sú oboznámený a ak tieto vstupné úkony odvracajú ich pozornosť alebo spomaľujú výkon práce. Riadiaci letovej prevádzky sú zodpovední za efektívne a bezpečné riadenie každého lietadla. Pod konštantným tlakom zvyšovania letovej prevádzky musia zaistiť, že žiadne nehody nenastanú. Riadiaci obvykle porušujú niektoré pravidlá pre zaistenie spomínaných požiadavkou. V prípade využívania technológií pre obmedzenie



pracovních schopností riadiaceho podľa stanovených oficiálnych pravidiel by sa potenciálne mohla kapacita vzdušného priestoru znateľne znížiť. Počítačové systémy a nástroje by mali slúžiť ako podporný zdroj riadiaceho letovej prevádzky. [17]

Aj keď papierové letové štítky sú spoľahlivým nástrojom dokumentácie informácií, nie je možné túto dokumentáciu využiť pre asistenciu riadiacim letovej prevádzky pre efektívnejší a bezpečnejší výkon práce. Napríklad systém založený na práci s papierovým médiom nie je schopný automaticky upozorniť riadiaceho letovej prevádzky v prípade vydania povolenia klesania do letovej hladiny, kde by mohlo dôjsť k nebezpečnému priblíženiu medzi dvoma lietadlami, alebo varovať riadiaceho, že lietadlo opustilo určenú letovú hladinu bez povolenia. Nové technológie ako dotykové obrazovky, elektronické perá a AR (Augmented Reality) umožnili vývin nových interakčných techník, ktoré sprístupnia prechod z využívania papierového média do digitálneho prostredia pomocou digitálnej registrácie vstupných informácií na letové štítky. So zvyšujúcou sa bezpečnosťou digitálne systémy budú schopné asistovať riadiacim letovej prevádzky s lokalizáciou letových štítkov a plánovaním letov. Napríklad pri označení elektronického formuláru letu na obrazovke radaru, príslušný letový štítkov bude vizuálne zvýraznený a v prípade označenia letového štítkov bude vizuálne zvýraznený elektronický formulár letu na obrazovke radaru. [28; 29]

Kombináciou viacerých technológií môže mať aj negatívne vlastnosti, napríklad poskytovanie priveľa možností užívateľovi, čo predstavuje záťaž mentálnej kapacity. V niektorých situáciách je možné, že sa bude musieť riadiaci rozhodnúť či je najlepšie v danej situácii použiť normálne pero na papier, elektronické pero na digitálny letový štítkov, alebo dotykový vstup priamo na obrazovku radaru. Nie je vždy samozrejmé, že rozširovanie možností vstupu ma za následok vylepšenie interakcie užívateľa s užívateľským prostredím. Rozširovanie možností taktiež môže potenciálne viesť k zmäteniu. [28; 30]

V nasledujúcej kapitole sú predstavené vybrané riešenia digitalizácie papierových letových štítkov a opísaný proces práce s nimi. Rôzne organizácie pristupujú k digitalizácií letových štítkov individuálnym spôsobom. Každopádne hlavné spôsoby interakcie s elektronickými letovými štítkami sú nasledovné:

- snímanie rukopisu na papierové médium a následné rozpoznávanie znakov
- interakcia s letovým štítkom pomocou digitálneho pera
- interakcia s letovým štítkom pomocou počítačovej myši



Digitalizácia neovplyvnila iba prácu s letovými štítkami, ale taktiež umožnila interakciu s informáciami o jednotlivých letoch na radarovom displeji. Tento interaktívny prvok zobrazujúci informácie o lete je nazývaný elektronický formulár, známy aj ako label.

Jedným z prvých pokusov o digitálne rozšírenie schopností papierového letového štítku bol projekt nazývaný Caméléon. Zámerom projektu bola identifikácia princípov práce s existujúcimi papierovými letovými štítkami a následne preskúmanie možností rozšírenia ich schopností pomocou digitálnych nástrojov. Projekt Caméléon preskúmal niekoľko technologických riešení. Využitie grafického tabletu s perom pre digitálny vstup, dotykové obrazovky s transparentnými držiakmi papierových štítkov pre sledovanie ich polohy a vizuálne zaznamenávacie zariadenia. Použité nástroje boli vyrábané v polovici deväťdesiatich rokoch, kedy ich dostupnosť a technologická schopnosť neumožňovala preskúmať plné využitie tzv. rozšírenej reality (Augmented Reality). [31; 32]

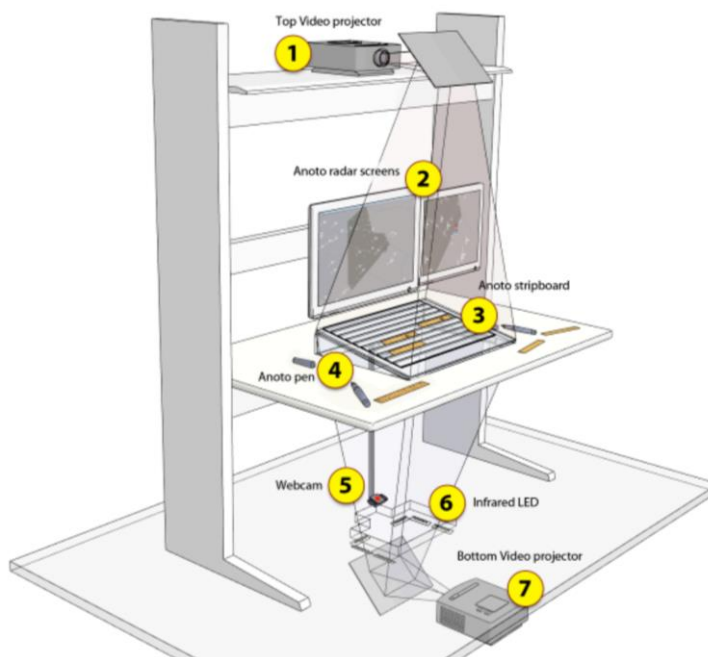
1.4.1 Strip'TIC

Jedným z riešení digitalizácie papierových letových štítkov je systém nazývaný Strip'TIC (Stripping Tangible Interface for Controllers). Strip'TIC je systém, ktorý využíva niekoľko typov technológií pre podporu určitých požiadavkou práce riadiaceho letovej prevádzky. Primárnou funkciou tohto systému je rozšírenie schopností a možností papierových letových štítkov, pomocou digitálnych nástrojov. Systém Strip'TIC je zobrazený na Obrázok 12 a jeho konštrukcia je ilustrovaná na Obrázok 13 obsahujúca všetky prvky systému. Pred riadiacim letovej prevádzky sa nachádza radarové zobrazenie vzdušného priestoru a pod obrazovkou je panel určený na ukladanie papierových letových štítkov. Panel na ukladanie papierových letových štítkov je vyrobený z plexiskla, ktorý je jemne naklonený k riadiacemu pre zvýšenie prehľadu. Panel obsahuje deväť horizontálnych riadkov udržiavajúce papierové letové štítky pre umožnenie ich usporiadavania. Na paneli sa nachádza priesvitná šablóna, ktorá umožňuje riadiacim interagovať s digitálnym prostredím pomocou špeciálneho digitálneho pera. Pero obsahuje atrament, ktorý píše na papierové letové štítky, spolu s infračervenou LED diódou, ktorej žiarenie sa odráža od priesvitnej šablóny. Systém využíva dva projektory pre projekciu digitálnych informácií na panel a papierové letové štítky. Spodný projektor zobrazuje obraz na šablónu pre digitálne pero a vrchný projektor zobrazuje obraz na papierové letové štítky. Rôzne systémové nástroje vypočítavajú a sledujú dynamické

parametre letu, ktoré následne môžu byť premietnuté na papierovom letovom štítku horným projektorom pre zlepšenie priestorového povedomia. [33; 34]



Obrázok 12 Zobrazenie používaného systému Srip'TIC [32]



Obrázok 13 Ilustrácia prototypu systému Strip'TIC [33]



V prípade, že riadiaci umiestni papierový letový štítok na panel, systém umiestni digitálnu kópiu štítku pod papierový letový pomocou predtlačných vzorov na zadnej strane papierového štítku, ktoré sníma kamera umiestnená v spodnej časti konštrukcie. Ak riadiaci zdvihne papierový letový štítok, jeho digitálna kópia ostane zobrazená na paneli. Keď riadiaci letovej prevádzky vydá príkaz lietadlu, zaznamená tento úkon na papierový letový štítok s digitálnym perom a nástroje na rozpoznávanie textu interpretujú digitálnu hodnotu systému. Systém je následne schopný upozorniť riadiaceho v prípade odklonenia lietadla od stanovených hodnôt. Pomocou upraveného zariadenia radarovej obrazovky sú riadiaci schopní ovládať aj zobrazenie radaru pomocou digitálneho pera. V prípade, že riadiaci označí lietadlo na radare, zvýrazní sa aj príslušný letový štítok a vice versa. Radarová obrazovka obsahuje aj ďalšie podporné nástroje, ako napríklad meranie vzdialeností medzi jednotlivými lietadlami. [33]

Testovaní riadiaci letovej prevádzky prejavili spokojnosť s navrhnutým systémom používania digitálneho pera, efektívne zhodnotili možnosť písania na letové štítky a zároveň na obrazovku radaru. Systém umožňuje riadiacim rýchly prístup k nástrojom, ako napríklad spojenie reprezentácie štítku a lietadla na radarovej obrazovke, predávanie stripov a opakované tlačenie stripov. [32]

Výhodou systému Strip'TIC je možnosť fyzického uchopenia letového štítku a digitálna dokumentácia zmien. Nevýhodou tohto systému je obmedzený priestor panelu pre ukladanie letových štítkov, pevná veľkosť letových štítkov a statická štruktúra panelu. Niektoré fyzické manipulácie s letovými štítkami predstavujú aj problém, napríklad pri pohybovaní väčšieho množstva letových štítkov v jednej chvíli alebo pri pohybu štítku z dôvodu jednoručného písania na letový štítok. Prepojenie fyzického sveta s virtuálnym je komplexný problém, čo môže komplikovať prácu riadiacim letovej prevádzky v situáciách, kedy počítač zle rozpozná písané znaky, alebo neporozumie myšlienkam riadiaceho. Papierové letové štítky umiestnené na panel neštandardným spôsobom taktiež môžu viesť k problémom rozpoznávania štítkov. [34]

1.4.2 DigiStrips

DigiStrips bol ďalší projekt, ktorý sa venoval digitalizácii letových štítkov po projekte Caméléon. Na rozdiel od projektu Caméléon, ktorého hlavným cieľom bolo rozšíriť schopnosti papierových letových štítkov pre vyššiu efektívnosť riadenia letovej prevádzky, DigiStrips používa LCD dotykové obrazovky pre zobrazenie elektronických letových štítkov v digitálnom prostredí [32]



Vývoj technológií v oblasti dotykových displejov sa v posledných desaťročiach rapídne vyvinul. Pred dotykovými obrazovými zariadeniami sa využívali obrazové monitory a vstupným zariadením do systému bola počítačová myš. Technológie dotykových displejov sú dnes široko dostupné a boli úspešne implementované v iných profesiách. Predstavujú základ pre flexibilné a kognitívne nenáročné rozhranie medzi človekom a strojom známym ako HMI (Human Machine Interface). [35]

Technologický koncept DigiStrips je založený na ľahko dostupných technologických produktoch, inovatívnom grafickom dizajne s animáciami, interaktívnych nástrojoch, veľkých obrazovkách s dotykovým vstupom a technológiách rozpoznávanými ovládanie gestami. Cieľom je emulácia papierových letových štítkov s integráciou nástrojov pre zefektívnenie interakcie riadiacich letovej prevádzky so systémom, využívanie benefitov ponúkaných digitalizáciou hlavne v oblasti poskytovania informácií a schopnosti spätnej väzby. [35]

Vývoj DigiStrips bol iniciovaný vývojármi z organizácie CENA (Centre d' Etudes de la Navigation Aérienne) vo Francúzsku. Účelom je vytvorenie jednoduchého, užívateľsky prívetivého systému, ktorého využívanie neprodukuje dodatočnú mentálnu záťaž. Systém využíva dotykový vstup a rozpoznávanie gest pre prirodzenú interakciu. [35]

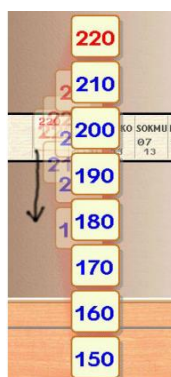
Obrazový panel pred riadiacim letovej prevádzky pozostáva z jednotlivých elektronických letových štítkov letov, ktoré sa nachádzajú v príslušnom sektore. Príklad usporiadania letových štítkov je zobrazený na Obrázok 14. Na letovom štítku sa nachádzajú všetky relevantné informácie ako na papierových letových štítkoch. Riadiaci vydané úkony dokumentuje na jednotlivé letové štítky pomocou interakcie digitálneho pera s dotykovou obrazovkou, alebo pomocou dotyku prsta. Dokumentované informácie na letovom štítku sú zapisované fontom napodobňujúcim ručný zápis, ako je možné vidieť na Obrázok 15. Pri vložení novej informácie do letového štítku, sa predošlá informácia preškrtnie čiarou, čo umožňuje náhľad na históriu vydaných úkonov. Predávanie letových štítkov je vykonávané pomocou pretiahnutia daného letového štítku na kraj obrazovky, kedy sa následne zobrazí upozornenie príslušnému riadiacemu na displeji o príchode letového štítku. Usporiadavanie letových štítkov sa taktiež vykonáva pomocou označenia letového štítku a jeho následného premiestnenia na požadované miesto, pričom sa ostatné letové štítky urovnávajú podľa potreby. Jednotlivé informácie riadiaci zadáva pomocou označenia príslušného poľa na letovom štítku, po ktorom sa zobrazí list s možnými hodnotami ako je možné vidieť na Obrázok 16. Riadiaci označí požadovanú hodnotu a tá sa následne zapíše na letový štítok v príslušnom poli. [36; 37; 38]

AFR5487	1753	280		280		ELBOX	GIRKO	SOKMU	MERUE
air france									
B742	MUHA	LFPG	RB			1252	57	58	00
480	370		121.15			CAN	12	12	13
ANS8700	1012	220		220		GIRKO	SOKMU	MERUE	
air nostrum									
F50	LEAS	LFPG	RB			1303	05	07	10
269	240		121.15			CLARA	13	13	13

Obrázok 14 Zobrazenie letových štítkov systému DigiStrips na paneli riadiaceho letovej prevádzky [36]

IT610EW	XXXX	<280>		280		AFRIC	KORAB	
Air Inter				280 240	0.15			
EA32	LFML	LFBD	XX			0736	52	53
454	280		000.00			FJR	07	07
IBE3473	XXXX	<330>		330		MAGEN	MEN	
Iberia				330 240				
MD80	LSZH	LEMD	XX			0719	21	24
442	330		000.00			ALELI	07	07
BAW477	XXXX	<350>		350		GIROM	AGN	SECHE
Speedbird								
757	LEBL	EGLL	XX			0725	37	45
60	350		000.00			RES	08	08

Obrázok 15 Spôsob dokumentácie informácií v letových štítkoch systému DigiStrips [38]



Obrázok 16 Príklad zobrazenia listu možností pri zmene hodnoty parametru letu v systéme DigiStrips [36]

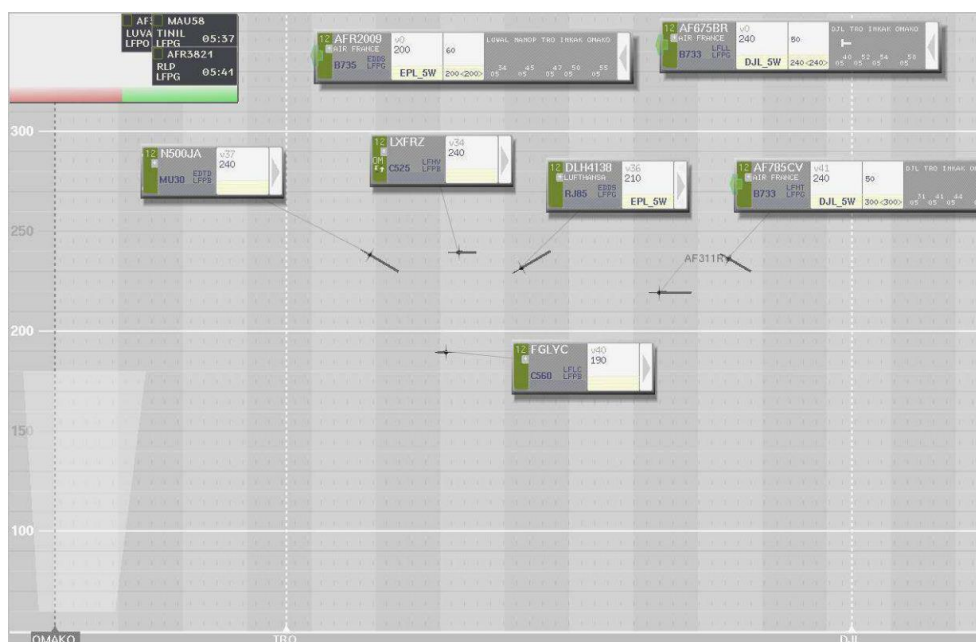
Využitím animácií systém poskytuje jasnú a zrozumiteľnú spätnú väzbu riadiacemu letovej prevádzky o realizovanom úkone. V prípade chybného úkonu systém upozorní riadiaceho pomocou malej animovanej vibrácie a umožní riadiacemu upravenie nedopatrenia. Systém je taktiež schopný upriamiť pozornosť riadiaceho pomocou zvýraznenia užitočných elementov v prípade potreby, napríklad pri konzultácií vzniknutej situácie s ďalším riadiacim. [37]



1.4.3 ASTER

Projekt ASTER (Assistant for Terminal Sectors) vznikol v roku 2001 a pokúšal sa vyvinúť nástroj, ktorý by mohol umožniť rýchlu a efektívnu dokumentáciu informácií na letových štítkoch v sektoroch TMA. Bol zvolený prístup, ktorý zachovával funkcionality papierových letových štítkov, ale interakcia prebiehala pomocou integrácie dotykového displeja pod obrazovku radaru. Podmienkou bola separácia činností riadiaceho medzi analýzou obrazovky radaru a práce s letovými štítkami pre minimalizáciu manipulácie s obrazovkou radaru. Základy dizajnu boli adoptované z práce projektu DigiStrips, čo predstavuje zameranie na grafický dizajn, animácie, možnosť pohybovania a manipuláciu s letovými štítkami napodobňujúcu organizáciu papierových letových štítkov. Novým prístupom bolo rozšírenie schopností letových štítkov pomocou prezentácie do vertikálnej roviny, čo kombinovalo vertikálny prehľad vzdušného priestoru a digitálny vstup informácií. Výsledným rozhraním človeka a stroja (HMI) bolo nazvané VertiDigi. [39]

Aj keď cieľom bolo znížiť potrebu manipulácie s obrazovkou radaru, interaktívne štítky lietadiel na obrazovke radaru boli implementované. Vďaka interaktívnym štítkom bolo možné zadávať základné informácie pomocou otvorenia okna s možnosťami jednotlivých hodnôt. Interakcia prebiehala kliknutím na požadované pole a následné zvolenie príslušnej hodnoty. Touto metódou bolo možné zadávať hodnoty povolenej letovej hladiny, smeru letu a rýchlosti. Displej s vertikálnym zobrazením vzdušného priestoru dodatočne obsahoval letové štítky letov, kde sa zmeny hodnôt konali pomocou dotykového označenia štítku a následnej voľby hodnoty zo zobrazeného menu pomocou jednoduchých gest. Zároveň jednotlivé letové štítky bol schopný riadiaci presunúť a usporiadať podľa aktuálnej potreby. Jedna z iterácií vývoja prostredia VertiDigi, kde je možné vidieť interpretáciu letov vo vertikálnej rovine vzdušného priestoru, je zobrazená na Obrázok 17. [40]



Obrázok 17 Zobrazenie simulovaného prostredia VertiDigi vo fáze vývoja [39]

Pri testovaní časových intervalov zadávania informácií do systému VertiDigi bol priemerný čas o 0,37 sekúnd väčší, ako pri zadávaní údajov na papierové letové štítky. Ešte väčšie časové intervaly boli pozorované pri zadávaní hodnôt smeru letu, kedy riadiaci musel rolovať listom hodnôt, aby našiel požadovanú hodnotu. Hodnoty smeru letu boli ponúkané s nárastom o 1° , čo list značne predlžovalo. Riešením bolo vytvorenie listu s ponúkaným nárastom hodnôt o 5° . Pozorovaná manipulácia letových štítkov v digitálnom prostredí bola rýchlejšia ako s tradičnými papierovými letovými štítkami. Pri registrácii konfliktných situácií nebol spozorovaný žiadny rozdiel medzi papierovým a elektronickým prostredím letových štítkov. [40]

Jedným z faktorov dlhších časových intervalov zadávania údajov do systému VertiDigi je oboznamovanie sa s novým prostredím. Aj v krátkom časovom období práce riadiaceho so systémom VertiDigi merané intervaly indikujú klesavú tendenciu. Nástroj VertiDigi je možné využiť aj bez plného zapojenia do ostatných systémov ATC. Dokáže fungovať aj ako samostatná jednotka pre zobrazovanie informácií bez možnosti komunikácie s ostatnými systémami. Nástroj potrebuje iba dva systémy pre zobrazovaciu funkciu, pripojenie na dátový tok radarového systému pre získavanie informácií o polohách jednotlivých letov a systém FDPS (Flight Data Processing System) pre získanie trás letov. Pomocou zobrazovacej schopnosti môže nástroj nadobudnúť podpornej funkcie v stredisku riadenia letovej prevádzky. [40]

1.4.4 Prototyp EFS (Electronic Flight Strip) na letisku Schiphol

Cieľom systému EFS bolo vyvinutie prototypu užívateľského prostredia elektronických letových štítkov na letiskovej veži letiska Schiphol v Amsterdame. Digitálne užívateľské prostredie má nahradiť prácu s papierovými letovými štítkami, ktoré sa na letisku využívali. Systém bol zameraný primárne na riadenie pozemnej letovej prevádzky v oblasti letiska. Zariadenie pozostávalo z dvoch vedľa seba umiestnených displejov na každej pozícii riadiaceho letovej prevádzky a vstupné zariadenie predstavovalo elektronické pero. Digitálne prostredie pozostávalo zo šiestich stĺpcov pre umiestnenie letových štítkov. Prototyp užívateľského prostredia systému EFS je zobrazený na Obrázok 18. Usporiadávanie letových štítkov nie je automatizované pre simuláciu práce s papierovými letovými štítkami. Užívateľ mohol letové štítky presúvať pomocou elektronického pera a následného ťahania po obrazovke, alebo mohol označiť letový štítok, následne ťuknutím stanoviť požadované miesto umiestnenia letového štítka, alebo vertikálne posúvať všetky letové štítky v danom stĺpci. Na predanie letového štítka na iné stanovisko riadiaci umiestnil štítok na dezignované miesto na obrazovke, kde sa jeho veľkosť zmenšila a zobrazované informácie boli limitované. Následne sa riadiacemu na vedľajšom stanovisku zobrazil monochromatický letový štítok v dezignovanom poli a jeho pretiahnutím na panel s ostatnými štítkami prevzal zodpovednosť za daný let. Zmena jednotlivých informácií na letových štítkoch prebiehala pomocou zobrazujúcich sa okien s príslušnými možnosťami. [41]



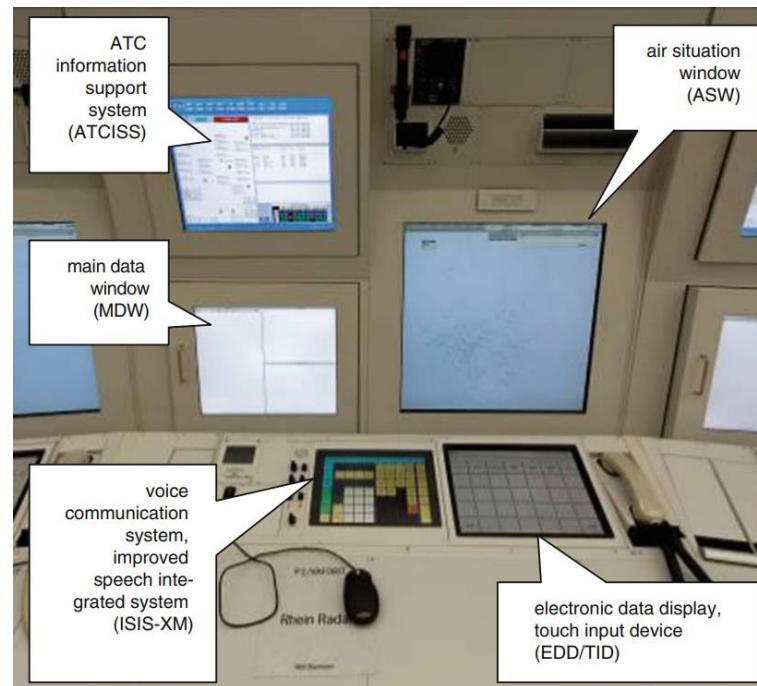
Obrázok 18 Prototyp systému EFS riadenia pozemnej letovej prevádzky [41]



Pri testovaní užívateľského prostredia bolo podotknuté, že presun letových štítkov výsadne pomocou elektronického pera vyžadovalo viac vizuálnej sústredenosti ako pri presune papierových letových štítkov. Pozitívnym prínosom bola redukcia hluku, ktorá vznikala pri presune plastových držiakov na papierové letové štítky. Ďalším prínosom bol spôsob predávania letových štítkov, ktorý bol rýchlejší, nevyžadoval pohyb riadiaceho a tým nestratil mentálny obraz prevádzky v jeho sektore. Autor práce upozornil na skutočnosť, že prevzatie letového štítku z dezignovanej plochy na panel s letovými štítkami bol pomalší, pretože riadiaci elektronické štítky zaraďovali neskôr, ako papierové štítky. Odôvodnené to bolo zobrazením monochromatického štítku v tomto mieste bez upozornenia a dezignovaná poloha na predávanie štítkov bola mimo skenovacieho poľa riadiaceho. [41]

1.4.5 P1/VAFORIT a iCAS (iTEC Centre Automation System)

P1/VAFORIT bol systém implementovaný na oblastnom stredisku Karlsruhe v Nemecku prevádzkovateľom Deutsche Flugsicherung (DFS). [42] Systém obsahuje mnohé nástroje, ktoré pomáhajú riadiacemu letovej prevádzky pri rozhodovaní. Niektoré úkony boli automatizované systémom pre zvýšenie kapacity vzdušného priestoru, zatiaľ čo zodpovednosť za bezpečné a usporiadané riadenie letovej prevádzky zostáva na riadiacom. Rozhranie človek-stroj (HMI), na rozdiel od papierového média, umožňuje riadiacim interagovať s automatizovanými nástrojmi systému. Integrácia Flight Data Processing System (FDPS) pre spracovávanie letových údajov, umožňuje kooperáciu medzi systémom a riadiacimi, predvídanie a analýzu potenciálnych konfliktov a monitorovanie priebehu letu. Systém pozostáva z ATCISS (Air Traffic Control Information Support System) monitoru, komunikačného vybavenia, displeju SDD (Synthetic Dynamic Display), ktorý zobrazuje aktuálnu prevádzku vo vzdušnom priestore, monitoru MDW (Main Data Window) a dotykového displeja pre dokumentáciu povolení EDD/TID (Electronic Data Display/Touch Input Device). [3] Stanica P1/VAFORIT a jednotlivé dostupné nástroje sú zobrazené na Obrázok 19.



Obrázok 19 Stanica P1/VAFORIT v oblastnom stredisku riadenia letovej prevádzky DFS [3]

Pre zaznamenávanie dát do systému je využívaný dotykový displej TID a počítačová myš. Povolenia sa zadávajú do traťového štítku letu na displeji AWS pomocou zvolenia hodnoty zo zobrazeného menu, alebo na monitore MDW. Traťové štítky obsahujú volací znak lietadla, letovú hladinu, pridelenú rýchlosť, pridelený smer a trasový bod. P1/VAFORIT taktiež umožňuje priamu interakciu s letovou trasou pomocou funkcie nazývanej Elastic Vector (elastický vektor), čo znamená, že riadiaci je schopný modifikovať trasu pomocou počítačovej myši na displeji AWS. [3]

iCAS je najnovší systém ktorý je vyvíjaný v spolupráci medzi spoločnosťami Deutsche Flugsicherung (DFS) a Indra. Systém iCAS má nahradiť používané ATS systémy P1/ATCAS a P2 v centrách riadenia leteckej prevádzky v Nemecku. [43] Aktuálne je iCAS implementovaný v centre riadenia letovej prevádzky Karlsruhe s plánom implementácie aj v ostatných centrách v Nemecku a Holandsku. Systém poskytuje rovnakú funkcionality ako P1/VAFORIT s pridanou hodnotou vyššej výkonnosti a schopnosti poskytovať riadiacemu letovej prevádzky kvalitnejší obraz vzdušného priestoru. [44]

1.4.6 Frequentis smartSTRIPS

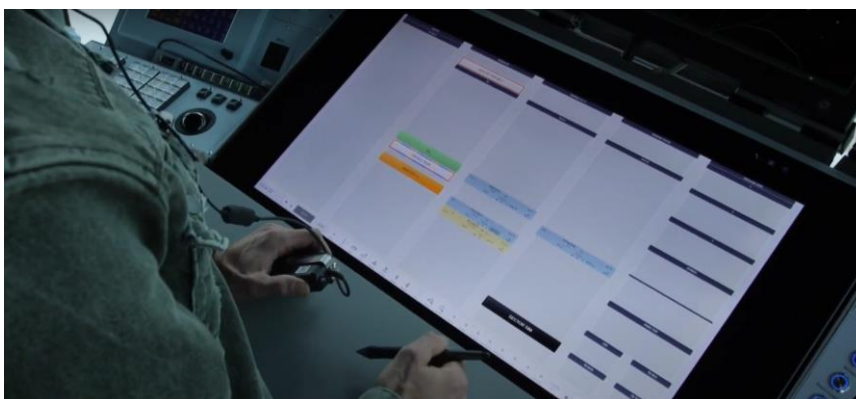
Jednou zo zameraní spoločnosti Frequentis je digitalizácia procesov riadenia letovej prevádzky. Na rozdiel od vývoja jednotlivých podporných systémov pre zvýšenie efektivity riadenia letovej prevádzky, Frequentis sa orientuje na implementáciu integrovaného riešenia nazývaného iCWP (Integrated Controller Working Position). Predstaveným riešením je harmonizácia systémových dát do jedného operačného displeja, ako je možné vidieť na Obrázok 20. Frequentis ponúka riešenia primerané k individuálnym požiadavkám užívateľov pomocou univerzálneho a konzistentného rozhrania človek-stroj. Riešenie pozostáva z dohľadových systémov, letiskových informačných systémov, systémov na sledovanie poveternostných podmienok, komunikačných systémov a elektronických letových štítkov nazývaných smartSTRIPS. [45]



Obrázok 20 Integrated Controller Working Position (iCWP) vyvíjaný spoločnosťou Frequentis [45]

SmartSTRIPS sú elektronické letové štítky, ktorých funkcia je prispôsobená stanoveným pracovným procesom individuálnych stredísk riadenia letovej prevádzky. Riadiaci letovej prevádzky interagujú s letovými štítkami pomocou elektronického pera, alebo pomocou dotykových gest. Zobrazenie užívateľského prostredia smartSTRIPS, ktorý je implementovaný v letiskovej veži letiska Schiphol v Amsterdame je zobrazený na Obrázok 21. Systém taktiež podporuje rozpoznávanie rukopisu pre dokumentáciu doplňujúcich informácií o letovom pláne. Spôsob zápisu zmien vydaných povolení v elektronickom letovom štítku nie je zverejnený v dostupnej dokumentácii, ktorá je veľmi limitovaná. Ďalšie podporované funkcie systému

sú zdieľané letové štítky, tichá koordinácia medzi riadiacimi a podpora funkčnosti štítkov pre všetky fáze letu. [46]

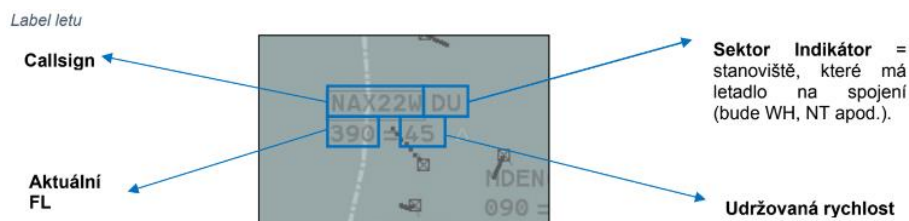


Obrázok 21 Uživatelské prostredie smartSTRIPS implementované v letiskovej veži Schiphol v Amsterdame [47]

1.4.7 Thales TopSky

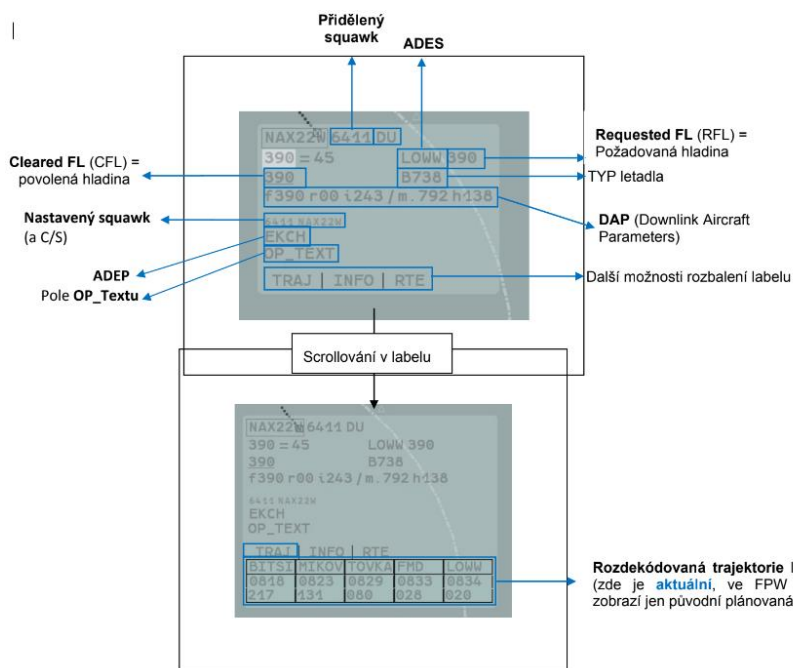
Thales TopSky je jednou s organizácií poskytujúcich systémy pre riadenie letovej prevádzky, ktorá prispieva vývojom k projektom SESAR a NextGen. Prostredie TopSky je prispôsobiteľné užívateľom podľa aktuálnych potrieb, komplexnosti vzdušného priestoru a schopné spolupráce s už implementovanými systémami. Systém je aktuálne implementovaný na viac ako sto regiónoch FIR [48] vrátane Českej republiky. [49]

Hlavným pracovným prvkom riadiaceho letovej prevádzky je radarové zobrazenie, ktoré obsahuje všetky relevantné informácie, ktoré riadiaci v danej chvíli potrebuje. Zadávanie povolení je vykonávané pomocou elektronického formuláru príslušnému letu. Na rozdiel od ostatných riešení elektronického formuláru, kde usporiadanie je zväčša statické, v systéme TopSky je riadiaci schopný dynamicky meniť tento vzhľad. Elektronický formulár je na radarovej obrazovke zobrazený v kompaktnej forme, ako je zobrazené na Obrázok 22. [50]



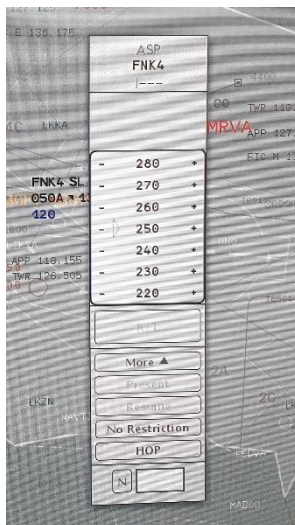
Obrázok 22 Príklad elektronického formulára systému TopSky v kompaktnej forme [50]

Po umiestnení ukazovateľa nad jeho plochu sa elektronický formulár zobrazí v rozšírenej forme. Následne pomocou kolieska na myši je riadiaci schopný vertikálne posúvať informácie elektronického formuláru pre zobrazenie doplnujúcich informácií, ako je zobrazené na Obrázok 23. Elektronický formulár taktiež obsahuje tlačidlá pre ďalšie možnosti zobrazenia informácií. [50]



Obrázok 23 Príklad elektronického formulára systému TopSky v rozšírenej forme a schopnosť vertikálneho posunu informácií [50]

Prostredie TopSky využíva pre ovládanie systému počítačovú myš a klávesnicu. Tlačidlá na klávesnici sú označené farebne a reprezentujú skratky pokynov, ktoré vykonávajú. Zadávanie hodnôt do elektronického formuláru prebieha pomocou výberu hodnôt zo zobrazeného menu, ako je zobrazené na Obrázok 24. [50]



Obrázok 24 Príklad zadávania hodnoty rýchlosti letu v prostredí systému TopSky

1.5 Limitácie súčasného stavu

Ako bolo spomenuté v kapitole 1.4, existuje niekoľko spôsobov zadávania hodnôt do elektronických letových štítkov. Výskum v oblasti riadenia letovej prevádzky sa primárne orientuje na digitalizáciu papierových letových štítkov a podporu práce riadiaceho pomocou implementácie podporných systémov.

Publikácie so zámerom na interakciu s elektronickým formulárom na obrazovke radaru neboli nájdené. Hlavným zámerom tejto práce je analýza interakcie s elektronickým formulárom a navrhnutie alternatívnych spôsobov manipulácie. Cieľom je zefektívnenie, urýchlenie práce s elektronickým formulárom a podpora mentálneho modelu riadiaceho letovej prevádzky. Navrhnuté riešenia by mali umožniť rýchlejšiu a jednoduchšiu interakciu s užívateľským prostredím bez potreby predošlých skúseností.



2 Experiment

Základnou oporou pre návrh riešení elektronických formulárov je simulačné prostredie ESCAPE Light, používané v Laboratóriu ATM systémov na Ústave leteckej dopravy, Fakulty dopravnej, Českého vysokého učení technického v Prahe. V nasledujúcich podkapitolách je opísané simulačné prostredie ESCAPE Light, práca s elektronickým formulárom v prostredí, navrhnuté alternatívne riešenia a spôsob vykonaného merania s predstavenými námetmi.

2.1 EUROCONTROL Simulation Capability And Platform for Experimentation

EUROCONTROL Simulation Capability And Platform for Experimentation (ESCAPE) je nástroj vyvinutý organizáciou EUROCONTROL pre podporu výskumu a vývoja v oblasti riadenia letovej prevádzky. ESCAPE je používaný ako simulátor riadenia letovej prevádzky pre posúdenie nových procedúr, návrhov zmien vo vzdušnom priestore, operačných konceptov a ich vplyv na kapacitu a bezpečnosť v mnohých strediskách v Európe. ESCAPE predstavuje prostredie ATC/ATM s riadiacim letovej prevádzky ako kľúčovým hráčom. Dokáže plne simulovať prostredie riadenia leteckej prevádzky alebo pracovať na základe pripojenia na aktuálnu letovú prevádzku v takzvanom "shadow-mode". [51]

2.2 Prostredie ESCAPE Light

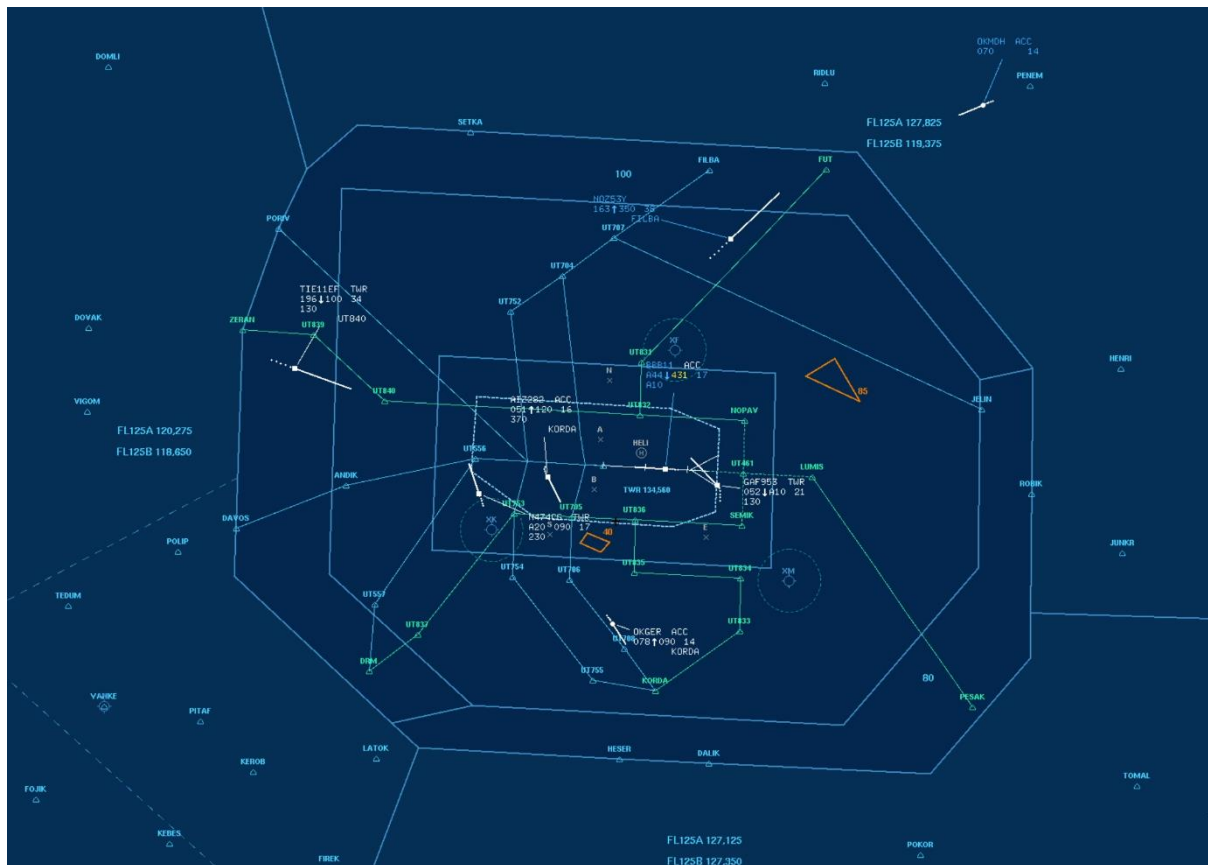
ESCAPE Light je zjednodušený simulátor, ktorý je však stále schopný výkonu softvérového prostredia ESCAPE. Simulátor bol prispôsobený na použitie dvoch, alebo viacerých laptopov s možnosťou zapojenia externých obrazoviek. Riešenie bolo vytvorené pre využitie simulácií na potreby výuky a výskumné projekty v menšom rozsahu. [52]

Simulátor ESCAPE Light je ideálnym riešením pre simulácie, výuku a výskumné projekty na malej škále. Nástroj vyžaduje dva počítače, ktoré spolu komunikujú, jeden pre riadiaceho leteckej prevádzky a jeden pre pseudo-pilota. Úlohou pseudo-pilota je riadenie jednotlivých letov v aktuálnom sektore a komunikácia s riadiacim letovej prevádzky. ESCAPE Light ponúka jednoduché nástroje pre kontrolu lietadiel a zadávanie informácií. Pomocou registrovaných informácií nástroj simuluje let lietadla vo vzdušnom priestore. Počet sektorov a riadených vzdušných oblastí je možné rozšíriť pomocou zapojenia viacerých dvojíc počítačov do systému.



Jednotlivé scenáre toku leteckej prevádzky si môže užívateľ nastaviť podľa aktuálnych potrieb. ESCAPE Light ponúka nástroje pre ovládanie integrovaného modulárneho prostredia, pre jednoduchú úpravu parametrov relevantných k aktuálnemu scenáru. Simulátor taktiež disponuje rozhraním človek-stroj (HMI – Human Machine Interface), ktoré napodobňuje riešenia používané v strediskách riadenia letovej prevádzky v Európe. Užívateľ je schopný manuálne vytvoriť letový sektor vzdušného priestoru, alebo ho importovať do systému. Následne si užívateľ stanoví jednotlivé vizuálne a funkčné parametre simulácie, s ktorými bude riadiaci letovej prevádzky pracovať.

Príklad prostredia riadiaceho letovej prevádzky používaného na Ústave leteckej dopravy, Fakulty dopravnej, Českého vysokého učení technického v Prahe je zobrazené na Obrázok 25. Simulované prostredie približovacieho stanoviska riadenia je fiktívne a bolo vytvorené pre potreby výuky a výskumné projekty na Ústave leteckej dopravy. Na obrázku je možné vidieť sektor vzdušného priestoru, kde riadiaci poskytuje približovaciú službu riadenia letovej prevádzky v okolí letiska, ktorý je ďalej rozdelený do oblastí s vyznačenou minimálnou letovou hladinou. Okolo sektoru sa nachádzajú susedné sektory vzdušného priestoru s príslušnou referenčnou letovou hladinou predávania riadenia a komunikačnou frekvenciou. Na radarovej obrazovke sa nachádzajú trojuholníky, ktoré reprezentujú polohové navigačné body a tmavomodrými kružnicami sú označené ostatné letiská v priestore. Oranžovou farbou sú vyznačené zakázané vzdušné priestory, nad ktorými je prelet zakázaný. Zelenými čiarami sú reprezentované príletové trasy na letisko a modrými čiarami odletové trasy. Bielymi bodmi sú označené aktuálne polohy lietadiel vo vzdušnom priestore, z ktorých vedie čiara smerom k príslušnému elektronickému formuláru lietadla. Pred polohou lietadla je predpokladaná čiara znázorňujúca vypočítavanú polohu za určitý časový interval a za polohou lietadla je bodovo reprezentovaná história polohy lietadla.



Obrázok 25 Riadenie letovej prevádzky v prostredí ESCAPE Light na Ústave leteckej dopravy, Fakulty dopravnej, České vysoké učení technické v Prahe

2.2.1 Elektronické formuláre v prostredí ESCAPE Light

Príklad elektronického formuláru v prostredí ESCAPE Light je zobrazený na Obrázok 26. Dizajn a usporiadanie elektronického formuláru je prispôsobiteľný podľa potreby užívateľa, pričom sa taktiež jeho vzhľad dynamicky mení podľa aktuálnych podmienok. Na spomínanom elektronickom formulári sa nachádzajú základné relevantné informácie o lete. V prvom riadku sa nachádza volací znak lietadla (OKGER) a sektor, ktorý je zodpovedný za riadenie letu (ACC). V následnom riadku je vyznačená aktuálna letová hladina lietadla (069), šípka reprezentujúca stav klesania/stúpania, povolená letová hladina (090) a príslušná pozemná rýchlosť letu (13). V poslednom riadku je zobrazený navigačný bod (KORDA), ku ktorému lietadlo smeruje.



Obrázok 26 Príklad kompaktného zobrazenia elektronického formuláru v prostredí ESCAPE Light

Keď sa riadiaci rozhodne s elektronickým formulárom interagovať, presunie ukazovateľ do priestoru elektronického formuláru, ktorý zobrazí jeho plný obsah. Príklad rozšíreného zobrazenia elektronického formuláru je reprezentovaný na Obrázok 27. V prvých dvoch riadkoch sú umiestnené rovnaké hodnoty ako v kompaktnom zobrazení elektronického formuláru. Pridanú hodnotu poskytuje tretí riadok s hodnotou vyžadanej cestovej letovej hladiny (090), typom lietadla (DA42) a označením príslušnou kategóriou turbulencií v úplave (L). V poslednom riadku elektronického formuláru sa nachádza letová trať (KOR1P), spomínaný bod smeru letu a dve tlačidlá pre zadávanie povolenej letovej rýchlosti (asp) a rýchlosti stúpania/klesania(arc). V prípade, že letová trať nebola letu pridelená, zobrazí sa tlačidlo pre zadávanie povoleného smeru letu (ahdg).



Obrázok 27 Príklad rozšíreného zobrazenia elektronického formuláru v prostredí ESCAPE Light

2.2.2 Interakcia s elektronickým formulárom v prostredí ESCAPE Light a jeho limitácie

V prípade, že riadiaci chce dokumentovať vydané povolenie letu, učiní tak pomocou stlačenia príslušnej hodnoty alebo tlačidla. Pri zmene hodnoty letovej hladiny, povolenej rýchlosti alebo vertikálnej rýchlosti riadiaci vyberá hodnoty z ponúkaného menu, ktoré sa zobrazí po stlačení tlačidla, ako je možné vidieť na Obrázok 28. Tieto menu pozostávajú z volacieho znaku lietadla, pre ktoré sa hodnota dokumentuje a numerických možností hodnôt. Hodnoty sú usporiadané vo vertikálnom liste a riadiaci pomocou posuvníku v pravej časti menu vyhľadáva pozíciu požadovanej hodnoty. Požadovanú hodnotu zvolí pomocou kliknutia ukazovateľom na príslušné pole.



Obrázok 28 Spôsob vkladania hodnôt letovej hladiny, rýchlosti a vertikálnej rýchlosti stúpania do elektronického formuláru v prostredí ESCAPE Light

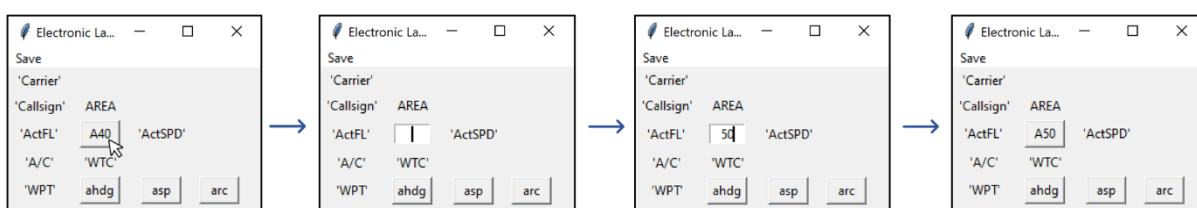
Užívatelia na Ústave leteckej dopravy, Fakulty dopravnej, Českého vysokého učení technického v Prahe interagujú s prostredím ESCAPE Light pomocou počítačovej myši. Schopnosť zadávania povolení pomocou zobrazovacích menu s hodnotami umožňuje prácu s prostredím bez nutnosti použitia klávesnice. Využívanie digitálneho pera je taktiež možné pomocou prezentovaného formátu vkladania povolení, ale používanie digitálneho pera vyžaduje zobrazovacie zariadenie usporiadené pre schopnosť dotykového vstupu. Úprava polohy posuvníku je možná iba pomocou prítomných šípok, alebo pohybovaním posuvníku. Posuvník nie je možné ovládať pomocou rolovacieho kolieska, ktoré je umiestnené

na počítačovej myši. Manipulácia s posuvníkom vyžaduje mentálnu kapacitu riadiaceho letovej prevádzky a časový interval pre nájdenie požadovanej hodnoty. Tento časový interval by mohol byť skrátenej pomocou implementácie alternatívnej možnosti vstupu hodnôt do prostredia.

2.3 Návrh alternatívnych riešení interakcie s elektronickým formulárom

Cieľom prezentovaných riešení je urýchliť interakciu s elektronickým formulárom a tým prispieť k efektívnosti práce riadiaceho letovej prevádzky pomocou navrhnutého rozhrania medzi počítačom a človekom. V spolupráci s Laboratóriom ATM systémov na Ústave leteckej dopravy, Fakulty dopravnej, Českého vysokého učení technického v Prahe boli navrhnuté tri alternatívne riešenia zadávania povolení do elektronického formuláru. Hlavnou myšlienkou návrhov je použitie počítačovej klávesnice, ktorá je prítomná na simulátore riadenia letovej prevádzky. Základnou vlastnosťou je zadávanie číselných povolení pomocou numerickej klávesnice. Po zvolení typu povolenia, užívateľ zadá požadované číslo do elektronického formuláru, ktoré je následne elektronicky dokumentované. Rozdielom medzi tromi navrhnutými riešeniami je spôsob označovania typu zadávanej hodnoty.

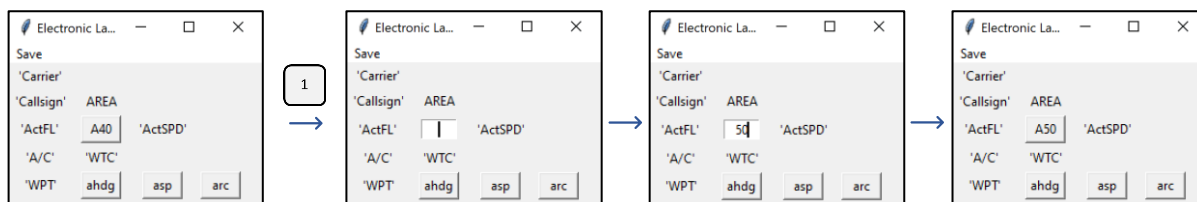
Prvým navrhnutým riešením je označovanie typu povolenia, teda letovej hladiny, rýchlosti letu, smeru letu a vertikálnej rýchlosti stúpania, pomocou ukazovateľa ovládaného počítačovou myšou. Užívateľ označí ukazovateľom typ hodnoty, ktorú chce zmeniť a hodnotu zadá pomocou numerickej klávesnice, ako je znázornené na Obrázok 29.



Obrázok 29 Znáozornenie procesu označenia parametru letovej hladiny ukazovateľom a zadávanie hodnoty pomocou použitia numerickej klávesnice

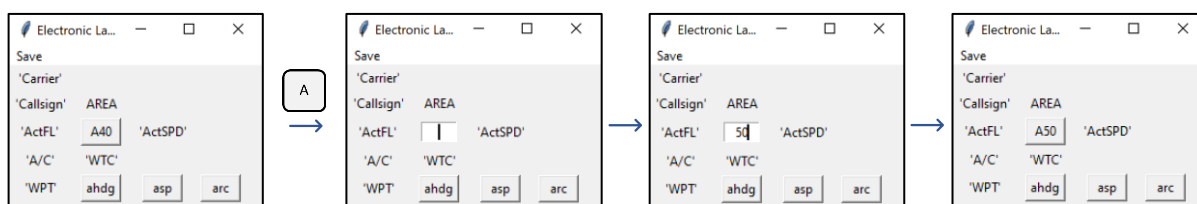
Druhým navrhnutým riešením je označovanie typu povolenia pomocou numerickej klávesnice. Pre zadávanie hodnoty letovej hladiny, užívateľ po umiestnení ukazovateľa nad pole príslušného elektronického formuláru, stlačí číslo '1' a pole pre zadávanie hodnoty sa zobrazí na mieste aktuálnej povolenej letovej hladiny. Po zadaní hodnoty pomocou numerickej

klávesnice, uživatel potvrdí svoj vstup pomocou tlačidla 'Enter'. Pre zmenu hodnoty rýchlosti letu stlačí tlačidlo s číslom '2', pre hodnotu smeru letu stlačí tlačidlo s číslom '3' a pre hodnotu vertikálnej rýchlosti stúpania stlačí tlačidlo s číslom '4'. Príklad procesu voľby parametru pomocou numerickej je znázornený na Obrázok 30.



Obrázok 30 Znáozornenie procesu označenia parametru letovej hladiny číslom a zadávanie hodnoty pomocou použitia numerickej klávesnice

Tretím navrhnutým riešením je označovanie typu povolenia pomocou tlačidiel s príslušnými písmenami. Ako v predošlom riešení, uživatel umiestni ukazovateľ nad pole príslušného elektronického formuláru a zvolí typ hodnoty, ktorú chce zmeniť. Pre zmenu hodnoty letovej hladiny letu stlačí tlačidlo s písmenom 'A', pre zmenu rýchlosti letu stlačí tlačidlo s písmenom 'S', pre zmenu smeru letu stlačí tlačidlo s písmenom 'W' a pre zmenu vertikálnej rýchlosti stúpania stlačí tlačidlo s písmenom 'D'. Potvrdenie zmeny hodnoty prebieha pomocou stlačenia tlačidla 'Enter'. Príklad procesu voľby parametru pomocou príslušného písmena klávesnice je znázornený na Obrázok 31.



Obrázok 31 Znáozornenie procesu označenia parametru letovej hladiny písmenom a zadávanie hodnoty pomocou použitia numerickej klávesnice

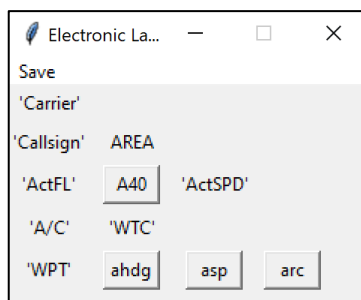
Pri navrhnutom riešení s označovaním typu povolenia pomocou ukazovateľa, uživatel musí presunúť pravú ruku z počítačovej myši nad numerickej klávesnicu, alebo numerickej klávesnicu ovládať pomocou ľavej ruky. Riešenie s voľbou typu povolenia pomocou numerickej klávesnice eliminuje potrebu označenia potrebnej hodnoty pomocou ukazovateľa na obrazovke monitoru, ale pohyb ruky medzi počítačovou myšou a numerickej klávesnicou je stále prítomný. Pri navrhnutom riešení s označovaním typu povolenia pomocou tlačidiel

s příslušnými písmenami, čas mezi presunom ruky z počítačovej myši nad numerickú klávesnicu je využitelný pomocou označenia typu povolenia pomocou ľavej ruky prítomnej nad tlačidlami s danými písmenami.

Pre porovnanie časových intervalov potrebnými na zadanie hodnoty povolenia bola vytvorená imitácia riešenia implementovaného v prostredí ESCAPE Light pomocou programovacieho jazyka Python. Programovací jazyk Python bol zvolený pre jeho dostupné a všestranné využitie v problematike vytvárania webových stránok, vývoja softvéru, automatizácie procesov a analýzy dát. Pre vytvorenie grafického užívateľského prostredia bol použitý nástroj Tkinter.

2.3.1 Prototyp dizajnu navrhnutého elektronického formuláru

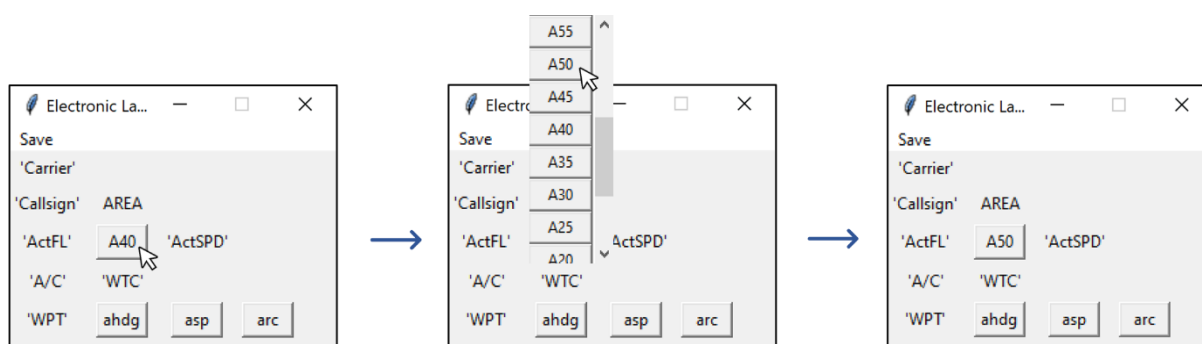
Prvá verzia grafického užívateľského prostredia vytvoreného ako imitácia riešenia implementovaného v prostredí ESCAPE Light je zobrazená na Obrázok 32. Grafické užívateľské prostredie pozostáva z imitácie elektronického formuláru, v ktorom sa nachádza názov leteckej spoločnosti prevádzkujúcej príslušný let (Carrier), volací znak letu (Callsign) a sektor zodpovedný za riadenie letu vo vzdušnom priestore (AREA). V treťom riadku sa nachádza aktuálna letová hladina letu (ActFL), tlačidlo s pridelenou letovou hladinou (A40) a aktuálna rýchlosť letu (ActSPD). Ďalej elektronický formulár obsahuje typ lietadla (A/C), kategóriu turbulencií v úplave (WTC), navigačný bod (WPT), ku ktorému lietadlo smeruje a tri tlačidlá. Tlačidlo 'ahdg' slúži pre zadanie smeru letu, tlačidlo 'asp' slúži pre zadanie pridelenej rýchlosti letu a tlačidlo 'arc' slúži pre zadanie hodnoty vertikálnej rýchlosti stúpania.



Obrázok 32 Vytvorený prototyp elektronického formuláru implementovanom v prostredí ESCAPE Light

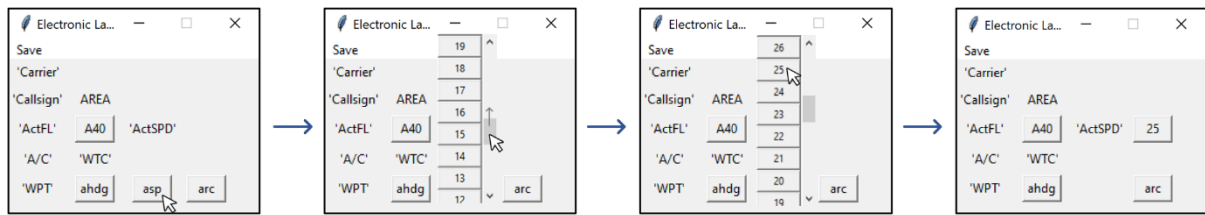
V prípade zmeny hodnoty letovej hladiny letu, užívateľ pomocou ukazovateľa označí príslušné tlačidlo, čo zobrazí menu s listom možností, z ktorého vyberie požadovanú hodnotu. Táto hodnota následne nahradí predošlú hodnotu zobrazenú v tlačidle s pridelenou letovou

hladinou. Proces je graficky znázornený na Obrázok 33. V príklade na Obrázok 32 lietadlu nie je pridelený smer letu, rýchlosť letu ani vertikálna rýchlosť stúpania. Pokiaľ riadiaci vydá povolenie a prideli lietadlu smer letu, alebo vertikálnu rýchlosť stúpania, stlačí príslušné tlačidlo, zobrazí sa menu s listom možných hodnôt, z ktorého riadiaci následne vyberie požadovanú hodnotu. V prípade pridelenia hodnoty letu sa názov tlačidla zmení na príslušnú pridelenú hodnotu. Pre zrušenie prideleného povolenia riadiaci zvolí hodnotu 'NONE' v prípade smeru letu, alebo hodnotu '0000' v prípade vertikálnej rýchlosti stúpania a názov tlačidla sa zmení späť na pôvodný vzor.



Obrázok 33 Proces zmeny letovej hladiny v elektronickom formulári pomocou menu s listom možných hodnôt

V prípade pridelenia rýchlosti letu, užívateľ označí tlačidlo s názvom 'asp', ktoré zobrazí menu s listom hodnôt, z ktorých užívateľ zvolí danú rýchlosť. Po zvolení hodnoty rýchlosti sa tlačidlo 'asp' stratí z elektronického formuláru a zobrazí sa tlačidlo so zvolenou hodnotou vedľa parametru aktuálnej rýchlosti letu (ActSPD), ako je zobrazené na Obrázok 34. Užívateľ opakovane zmení hodnotu pridelenej rýchlosti letu pomocou stlačenia tlačidla s aktuálnou pridelenou rýchlosťou. Pre zrušenie pridenej rýchlosti letu, riadiaci zvolí hodnotu v spodnej časti listu '00'. Po zvolení tejto hodnoty sa tlačidlo s pridelenou rýchlosťou letu stratí a zobrazí sa pôvodné tlačidlo 'asp' na jeho originálnom mieste v riadku číslo päť. Umiestnenie týchto tlačidiel v poslednom riadku elektronického formuláru slúži k ich zakrytiu pri kompaktnom zobrazení.



Obrázok 34 Proces prvotného pridelenia hodnoty rýchlosti letu v elektronickom formulári

Navrhnuté riešenia elektronických formulárov pozostávali z rovnakého usporiadania funkčných prvkov originálneho elektronického formuláru. Rozdielom bolo ovládanie voľby meneného parametru a nahradenie zobrazovaných menu s poľom pre zadávanie numerických hodnôt pomocou numerickej klávesnice, ktorého príklady sú zobrazené na Obrázok 29, Obrázok 30 a Obrázok 31.

2.3.2 Testovanie navrhnutého riešenia

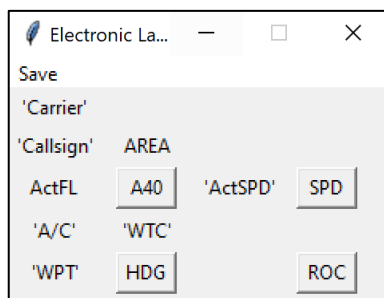
Testovanie vytvorených riešení prebiehalo pomocou počúvania audio-nahrávky a zadávania parametrov do elektronického formuláru. Pomocou scenárov v simulačnom prostredí ESCAPE Light bol vytvorený, a následne transformovaný do akustickej formy, zoznam príkazov riadiaceho letovej prevádzky, ktorý je dostupný v prílohe 1. Zoznam príkazov obsahuje zmeny parametrov pridelenej letovej hladiny, rýchlosti letu, smeru letu a vertikálnej rýchlosti stúpania a ich kombinácie. Pri vytváraní audio-nahrávky bola používaná štandardná frazeológia riadenia letovej prevádzky.

Testovanie subjektov prebiehalo v Laboratóriu ATM systémov na Ústave leteckej dopravy, Fakulty dopravnej, Českého vysokého učení technického v Prahe. Testovanými subjektmi boli študenti fakulty, ktorí pravidelne absolvovali výuku na simulátore ESCAPE Light. Šesťdesiat subjektov bolo podrobených testovaniu na všetkých štyroch vytvorených riešeniach. Jednotlivým subjektom boli poskytnuté slúchadla, ktoré prehrávali audio-nahrávku a úlohou subjektu bolo zadávať parametre do vytvoreného elektronického formuláru.

2.3.3 Upravený návrh dizajnu elektronického formuláru

V prvej fáze testovania boli pozorované obťažnosti so spôsobom zadávania pridelenej rýchlosti letu. Konkrétny problém bola zmena polohy tlačidla pri pridelení rýchlosti letu, v prípade, že let pridelenú hodnotu nemal a v prípade zrušenia pridelenej rýchlosti letu, po ktorej sa tlačidlo vrátilo na pôvodnú pozíciu. Následkom týchto komplikácií bolo tlačidlo

'asp' odstránené z elektronického formuláru a tlačidlo na zmenu pridelenej hodnoty rýchlosti letu po zrušení ostalo na mieste, ako je znázornené na Obrázok 35. Z dôvodu zvýšenia porozumenia prostredia elektronického formuláru, keď parameter neobsahoval pridelenú hodnotu, zobrazoval názov príslušného parametru: 'SPD' pre rýchlosť letu, 'HDG' pre smer letu a 'ROC' pre vertikálnu rýchlosť stúpania.



Obrázok 35 Vytvorený elektronický formulár po implementácii úprav na základe spätnej väzby z prvej fázy meraní

2.4 Analýza výsledkov

Meranie subjektov sa konalo v laboratóriu ATM systémov na Ústave leteckej dopravy, Fakulty dopravnej, Českého vysokého učení technického v Prahe. Šesťdesiat subjektov bolo podrobených meraniu na všetkých štyroch navrhnutých riešeniach. Po krátkej prezentácii a opise softvérového prostredia, subjekty zadávali počúvané povolenia do imitácie elektronického formuláru implementovanom v simulačnom prostredí ESCAPE Light. Po úspešnom dokončení merania postupovali k návrhu s označovaním parametrov pomocou ukazovateľa, ďalej pomocou numerickej klávesnice a nakoniec pomocou tlačidiel 'WASD'.

2.4.1 Záznam výsledkov

Výsledky boli ukladané po každom meraní do textového súboru s formátom '.txt'. Súbor obsahoval zaznamenaný typ parametru, ktorý subjekt označil, hodnotu a jej časový interval zadania do systému. Meraný časový interval začal, keď subjekt označil daný parameter a skončil, keď subjekt potvrdil svoju voľbu. Súbor s nameranými hodnotami boli následne konvertované do súborov typu '.csv' pre jednoduchšiu kompatibilitu so softvérovou knižnicou Pandas pracujúcou na báze programovacieho jazyka Python. Pre vizualizáciu výsledkov bola použitá softvérová knižnica Matplotlib.



2.4.2 Používaná taxonómia

Pre jednoduchosť výkladu boli zvolené nasledovné pomenovania pre vytvorené riešenia:

- menu – užívateľské prostredie pre zadávanie hodnôt parametrov pomocou výberu zo zobrazeného menu, imitácia elektronického formuláru implementovanom v simulačnom prostredí ESCAPE Light
- myš – užívateľské prostredie, kde voľba parametra prebieha pomocou ukazovateľa a následne sú hodnoty zadávané pomocou numerickej klávesnice
- 1234 – užívateľské prostredie, kde voľba parametra prebieha pomocou príslušných tlačidiel na numerickej klávesnici a následne sú hodnoty zadávané
- WASD – užívateľské prostredie, kde voľba parametra prebieha pomocou príslušných tlačidiel s danými písmenami a následne sú hodnoty zadávané pomocou numerickej klávesnice

2.4.3 Úprava nameraných dát

Pomocou softvérovej knižnice Pandas boli súbory typu '.csv' načítané do dátových blokov a následne analyzované. Jednotlivé dátové bloky vytvárali štyri hlavné dátové celky, ktoré obsahovali merania všetkých subjektov podľa typu navrhnutého riešenia. Po spojení všetkých meraní boli odstránené prvky merania s príslušnou hodnotou (-1). Táto hodnota predstavovala v meraní označenie parametru pre zadanie veličiny, kde nedošlo k zadaniu danej veličiny. V prípade omylu pri označení nevhodného parametru, subjekt mohol stlačiť počítačovou myšou vedľa zobrazeného poľa, alebo stlačiť tlačidlo 'Enter' bez vyplnenia veličiny a predošlá hodnota sa zobrazila späť v oblasti tlačidla. V tomto prípade softvérové prostredie zaznamenalo časový interval tejto interakcie a ako zadanú hodnotu užívateľom pridelil číslo (-1).

2.4.4 Štatistické ukazovatele

Pre vyhodnotenie časových intervalov interakcie s navrhnutými riešeniami boli použité následné štatistické nástroje:

- Stredná hodnota (aritmetický priemer) \bar{x} – ktorého výpočet je znázornený v rovnici (2.4.4.1), kde x_i sú vzorky dátového bloku a n je počet vzoriek v danom bloku.



$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n x_i \quad (2.4.4.1)$$

- Rozptyl σ^2 – určuje variabilitu od strednej hodnoty. Výpočet je znázornený v rovnici (2.4.4.2), kde x_i sú vzorky dátového bloku, n je počet vzoriek v danom bloku a \bar{x} je stredná hodnota.

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.4.4.2)$$

- Smerodajná odchýlka σ – je druhou odmocninou rozptylu a taktiež ako rozptyl určuje variabilitu dát. Výpočet je znázornený v rovnici (2.4.4.3), kde σ^2 je rozptyl.

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (2.4.4.3)$$

- Medián $\tilde{x}_{0,5}$ – reprezentuje hodnotu, ktorá rozdeľuje usporiadaný dátový blok na dve rovnako početné časti.
- Dolný kvartil $\tilde{x}_{0,25}$ – reprezentuje hodnotu, ktorá rozdeľuje usporiadaný dátový blok na dve časti s pomerom 1/3.
- Horný kvartil $\tilde{x}_{0,75}$ – reprezentuje hodnotu, ktorá rozdeľuje usporiadaný dátový blok na dve časti s pomerom 3/1.
- Medzikvartilové rozpätie q – reprezentuje rozdiel horného a dolného kvartilu. Výpočet je zobrazený v rovnici (2.4.4.4), kde $\tilde{x}_{0,75}$ je horný kvartil a $\tilde{x}_{0,25}$ je dolný kvartil.

$$q = \tilde{x}_{0,75} - \tilde{x}_{0,25} \quad (2.4.4.4)$$

- Dolná vnútorná hradba x_{min} – reprezentuje najnižšiu príľahlú hodnotu. Výpočet je zobrazený v rovnici (2.4.4.5), kde $\tilde{x}_{0,25}$ je dolný kvartil a q je medzikvartilové rozpätie.

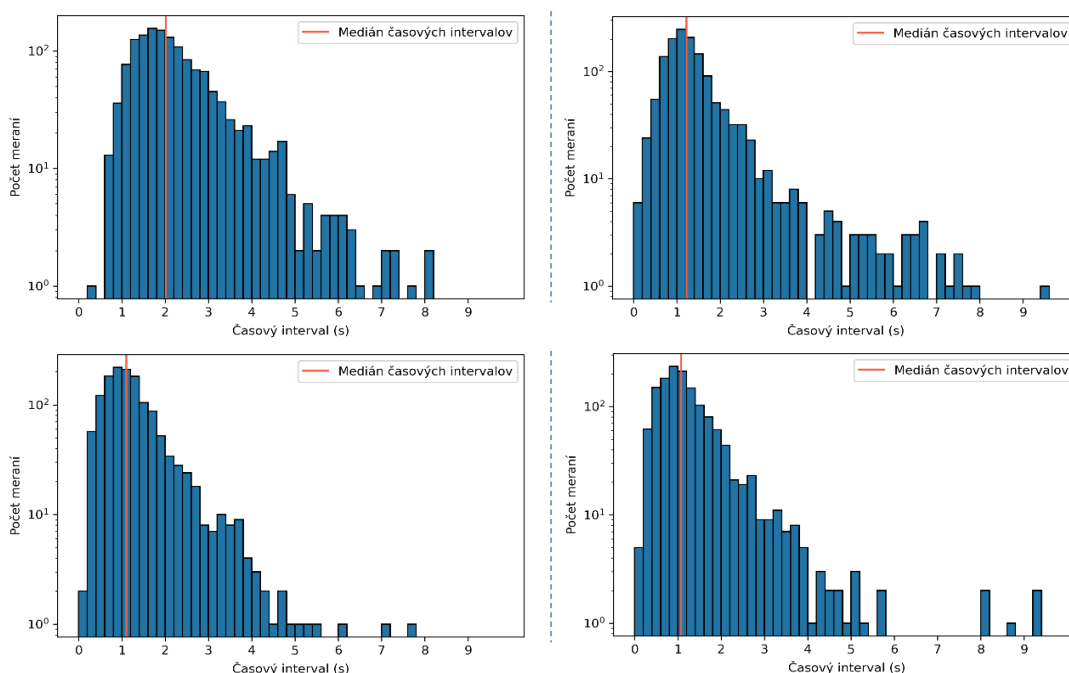
$$x_{min} = \tilde{x}_{0,25} - 1,5 q \quad (2.4.4.5)$$

- Horná vnútorná hradba x_{max} – reprezentuje najvyššiu príľahlú hodnotu. Výpočet je zobrazený v rovnici (2.4.4.6), kde $\tilde{x}_{0,75}$ je horný kvartil a q je medzikvartilové rozpätie.

$$x_{max} = \tilde{x}_{0,75} + 1,5 q \quad (2.4.4.6)$$

2.4.5 Interakcie s navrhnutými riešeniami

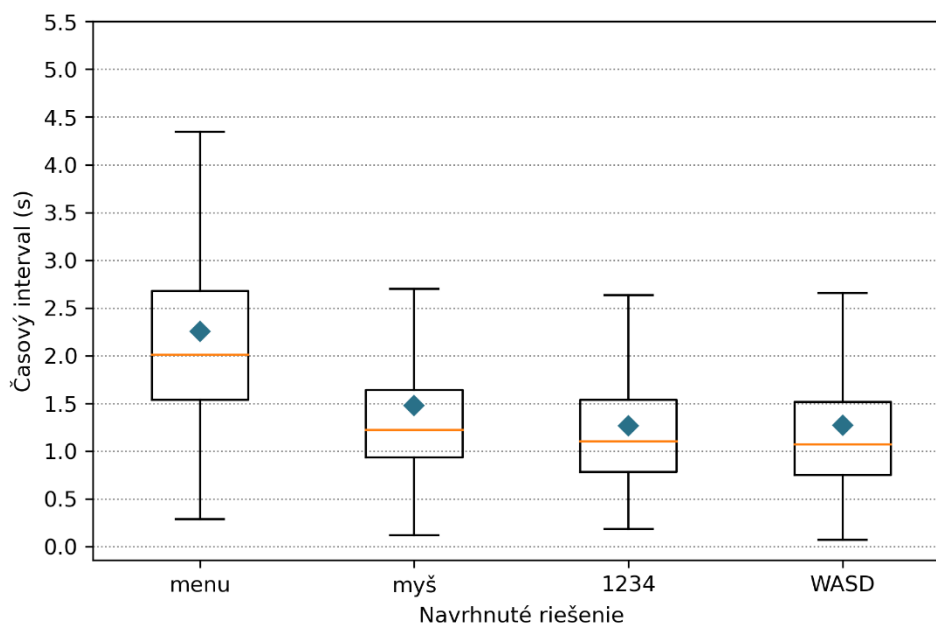
Interakcie s navrhnutými riešeniami sú graficky znázornené vo forme histogramov na Obrázok 36. Analýza interakcií pozostáva z kombinácie všetkých štyroch typov zadávaných parametrov. Na horizontálnej ose sú reprezentované časové intervaly v sekundách (s), každý s rozsahom 0,2 sekúnd. Na vertikálnej ose je zobrazený počet vzoriek (-) príslušný k danému časovému intervalu v logaritmickej stupnici kvôli presnejšiemu zobrazeniu hodnôt vzoriek s menšou početnosťou. Na histograme je taktiež znázornený medián súboru získaných vzoriek, ktorého hodnota sa nachádza v Tabuľka 1.



Obrázok 36 Grafické znázornenie početnosti nameraných časových intervalov riešenia typu menu (A), riešenia typu myš (B), riešenia typu 1234 (C) a riešenia typu WASD (D)

Rozdiel medzi jednotlivými navrhnutými riešeniami je zobrazený na Obrázok 37 vo formáte boxplot. Na horizontálnej osi sú znázornené jednotlivé navrhnuté riešenia (-) a na vertikálnej

osi časové intervaly v sekundách (s). Každý z diagramov obsahuje hranicu minima a maxima, dolný a horný kvartil, medián vo forme červenej horizontálnej čiary a strednú hodnotu označenú modrým štvorcem. Štatistické ukazovatele sú následne uvedené v Tabuľka 1.

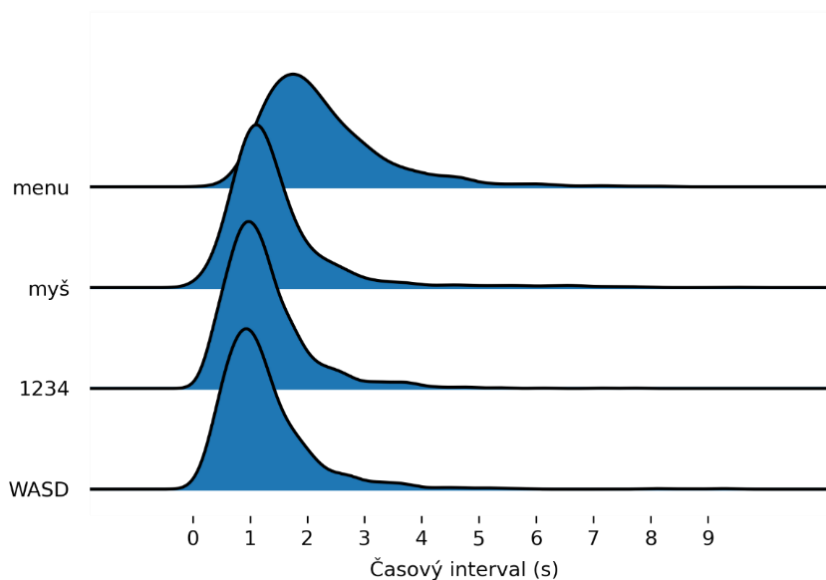


Obrázok 37 Grafické zobrazenie nameraných hodnôt časových intervalov všetkých riešení pre všetky parametre

Tabuľka 1 Stredné hodnoty \bar{x} , rozptyly σ^2 , smerodajné odchýlky σ , mediány $\tilde{x}_{0,5}$, dolné kvartily $\tilde{x}_{0,25}$, horné kvartily $\tilde{x}_{0,75}$, medzikvartilové rozpätia q , dolné vnútorné hradby x_{min} a horné vnútorné hradby x_{max} meraných riešení pre všetky zadávané parametre.

	\bar{x}	σ^2	σ	$\tilde{x}_{0,5}$	$\tilde{x}_{0,25}$	$\tilde{x}_{0,75}$	q	x_{min}	x_{max}
menu	2,26	1,12	1,06	2	1,54	2,68	1,14	0,29	4,39
myš	1,48	1,08	1,04	1,22	0,94	1,64	0,7	0,12	2,7
1234	1,27	0,6	0,77	1,1	0,78	1,53	0,75	0,18	2,66
WASD	1,27	0,78	0,88	1,07	0,75	1,52	0,77	0,07	2,67

Ďalším grafickým znázornením je diagram typu Joyplot, ktorý je zobrazený na Obrázok 38. Na horizontálnej ose je znázornený časový interval v sekundách (s). Na vertikálnej ose sa nachádzajú jednotlivé navrhnuté riešenia (-) usporiadané nad sebou obsahujúce vzorky zo všetkých štyroch zadávaných parametrov, s znázorneným počtom vzoriek s rovnakou hodnotou časového intervalu.



Obrázok 38 Grafické zobrazenie nameraných hodnôt časových intervalov všetkých riešení pre všetky parametre vo forme Joyplot diagramu



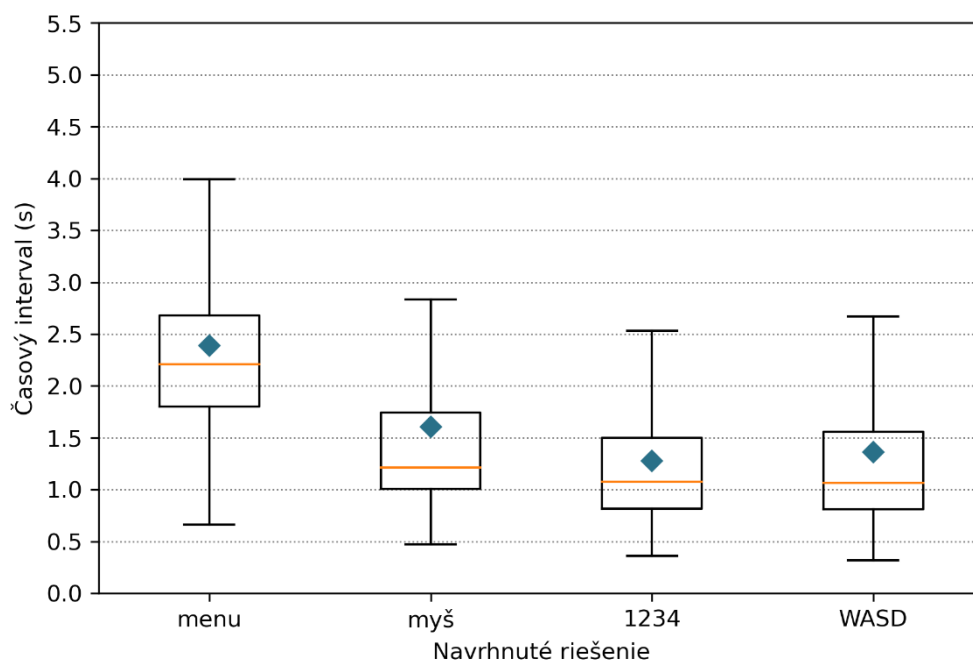
2.4.6 Interakcie s navrhnutými riešeniami podľa parametru

Porovnanie interakcií s navrhnutými riešeniami podľa jednotlivých zadávaných parametrov sú zobrazené nasledovne:

- Obrázok 39 – rýchlosť interakcií s parametrom letovej hladiny
- Obrázok 40 – rýchlosť interakcií s parametrom letovej rýchlosti
- Obrázok 41 – rýchlosť interakcií s parametrom smeru letu
- Obrázok 42 – rýchlosť interakcií s parametrom vertikálnej rýchlosti stúpania

Na horizontálnej osi sú zobrazené jednotlivé navrhnuté riešenia (-) a na vertikálnej osi je znázornený časový interval v sekundách (s). V diagramoch je znázornený medián daného merania červenou horizontálnou čiarou a stredná hodnota modrým štvorcom. K jednotlivým diagramom sú nasledovne taktiež zobrazené tabuľky s príslušnými štatistickými ukazovateľmi pre každé navrhnuté riešenie:

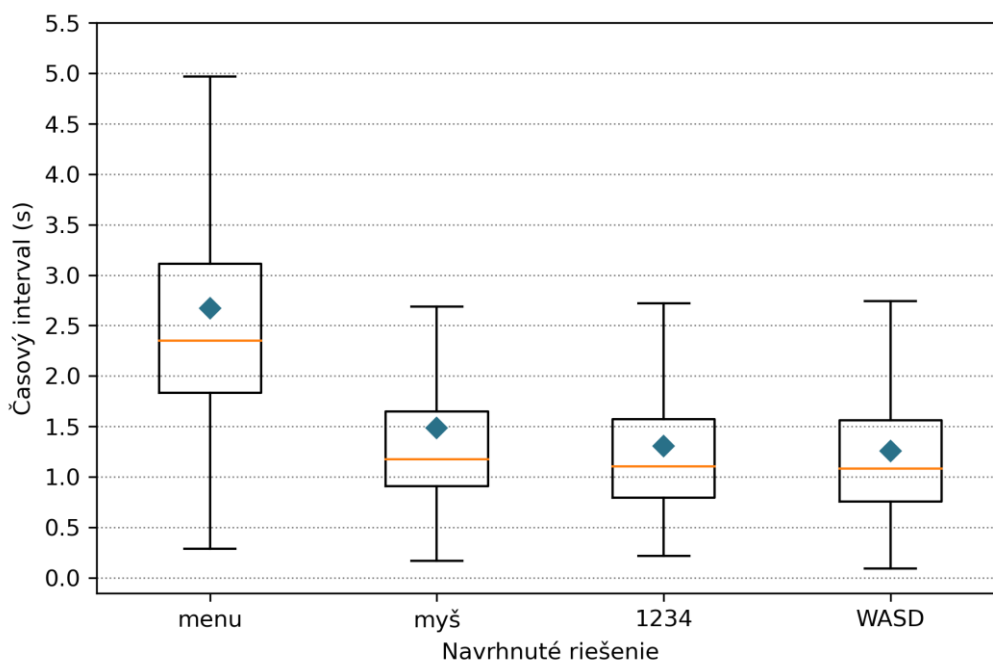
- Tabuľka 2 – rýchlosť interakcií s parametrom letovej hladiny
- Tabuľka 3 – rýchlosť interakcií s parametrom letovej rýchlosti
- Tabuľka 4 – rýchlosť interakcií s parametrom smeru letu
- Tabuľka 5 – rýchlosť interakcií s parametrom vertikálnej rýchlosti stúpania



Obrázok 39 Grafické zobrazenie nameraných časových intervalov všetkých riešení pre zadávaný parameter letovej hladiny

Tabuľka 2 Stredné hodnoty \bar{x} , rozptyly σ^2 , smerodajné odchýlky σ , mediány $\tilde{x}_{0,5}$, dolné kvartily $\tilde{x}_{0,25}$, horné kvartily $\tilde{x}_{0,75}$, medzikvartilové rozpätia q , dolné vnútorné hradby x_{min} a horné vnútorné hradby x_{max} meraných riešení pre zadávaný parameter letovej hladiny.

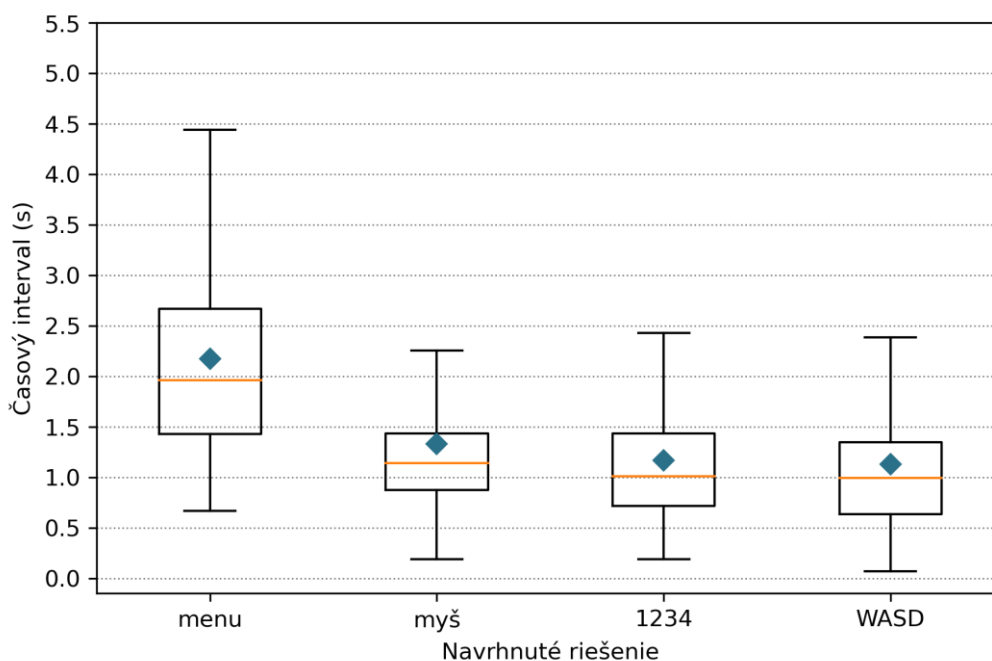
	\bar{x}	σ^2	σ	$\tilde{x}_{0,5}$	$\tilde{x}_{0,25}$	$\tilde{x}_{0,75}$	q	x_{min}	x_{max}
menu	2,39	0,9	0,95	2,21	1,8	2,68	0,88	0,66	4
myš	1,60	1,33	1,15	1,21	1,01	1,74	0,74	0,47	2,85
1234	1,28	0,52	0,72	1,07	0,82	1,50	0,69	0,36	2,53
WASD	1,36	1,07	1,03	1,06	0,81	1,56	0,75	0,32	2,68



Obrázok 40 Grafické zobrazenie nameraných časových intervalov všetkých riešení pre zadávaný parameter rýchlosti letu

Tabuľka 3 Stredné hodnoty \bar{x} , rozptyly σ^2 , smerodajné odchýlky σ , mediány $\tilde{x}_{0,5}$, dolné kvartily $\tilde{x}_{0,25}$, horné kvartily $\tilde{x}_{0,75}$, medzikvartilové rozpätia q , dolné vnútorné hradby x_{min} a horné vnútorné hradby x_{max} meraných riešení pre zadávaný parameter rýchlosti letu.

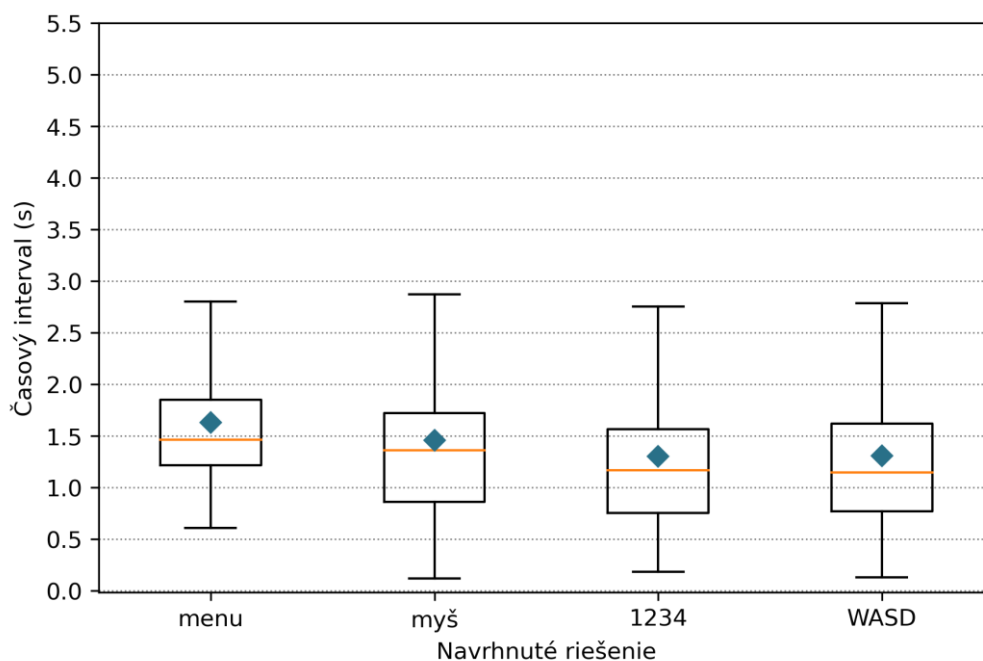
	\bar{x}	σ^2	σ	$\tilde{x}_{0,5}$	$\tilde{x}_{0,25}$	$\tilde{x}_{0,75}$	q	x_{min}	x_{max}
menu	2,67	1,50	1,23	2,35	1,83	3,11	1,28	0,29	5,03
myš	1,49	1,13	1,06	1,18	0,91	1,65	0,74	0,17	2,75
1234	1,31	0,69	0,83	1,1	0,79	1,57	0,78	0,22	2,74
WASD	1,25	0,56	0,75	1,08	0,76	1,56	0,8	0,09	2,76



Obrázok 41 Grafické zobrazenie nameraných časových intervalov všetkých riešení pre zadávaný parameter smeru letu

Tabuľka 4 Stredné hodnoty \bar{x} , rozptyly σ^2 , smerodajné odchýlky σ , mediány $\tilde{x}_{0,5}$, dolné kvartily $\tilde{x}_{0,25}$, horné kvartily $\tilde{x}_{0,75}$, medzikvartilové rozpätia q , dolné vnútorné hradby x_{min} a horné vnútorné hradby x_{max} meraných riešení pre zadávaný parameter smeru letu.

	\bar{x}	σ^2	σ	$\tilde{x}_{0,5}$	$\tilde{x}_{0,25}$	$\tilde{x}_{0,75}$	q	x_{min}	x_{max}
menu	2,17	0,94	0,79	1,96	1,43	2,67	1,24	0,67	4,53
myš	1,33	0,91	0,95	1,15	0,88	1,44	0,56	0,19	2,28
1234	1,17	0,54	0,73	1,01	0,72	1,44	0,72	0,19	2,51
WASD	1,13	0,54	0,73	1	0,64	1,35	0,71	0,07	2,41

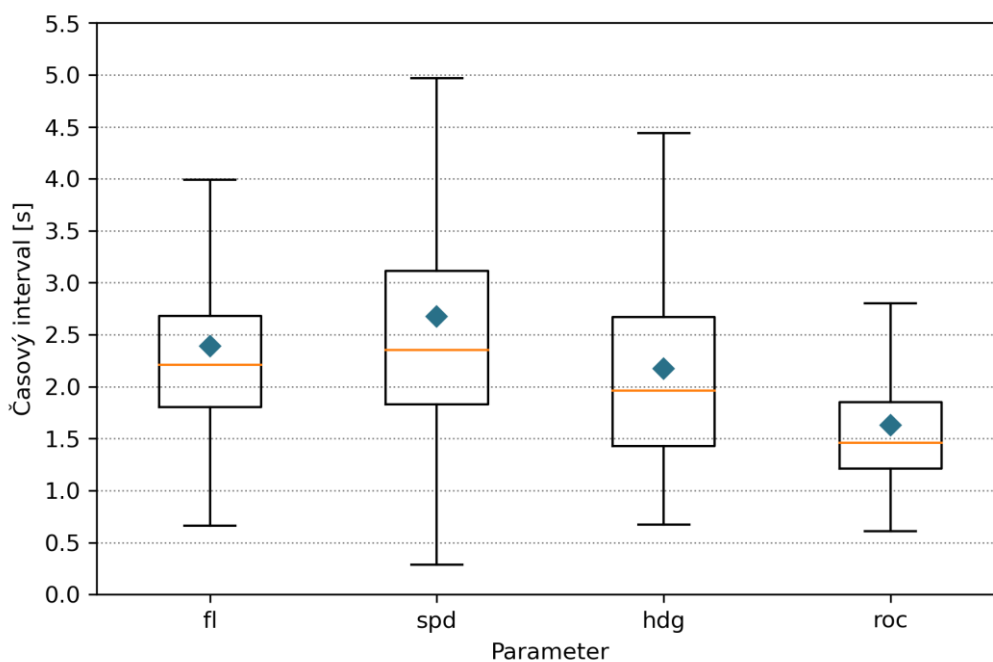


Obrázok 42 Grafické zobrazenie nameraných časových intervalov všetkých riešení pre zadávaný parameter vertikálnej rýchlosti stúpania

Tabuľka 5 Stredné hodnoty \bar{x} , rozptyly σ^2 , smerodajné odchýlky σ , mediány $\tilde{x}_{0,5}$, dolné kvartily $\tilde{x}_{0,25}$, horné kvartily $\tilde{x}_{0,75}$, medzikvartilové rozpätia q , dolné vnútorné hradby x_{min} a horné vnútorné hradby x_{max} meraných riešení pre zadávaný parameter vertikálnej rýchlosti stúpania.

	\bar{x}	σ^2	σ	$\tilde{x}_{0,5}$	$\tilde{x}_{0,25}$	$\tilde{x}_{0,75}$	q	x_{min}	x_{max}
menu	1,63	0,45	0,67	1,46	1,21	1,85	0,64	0,61	2,81
myš	1,46	0,82	0,91	1,36	0,86	1,72	0,86	0,12	3,02
1234	1,3	0,64	0,8	1,16	0,75	1,57	0,81	0,18	2,79
WASD	1,31	0,92	0,96	1,14	0,77	1,62	0,85	0,13	2,89

Na Obrázok 43 je ešte zobrazený rozdiel medzi jednotlivými zadávanými parametrami v riešení menu. Na horizontálnej osi sú zobrazené jednotlivé zadávané parametre (-) a na vertikálnej osi je znázornený časový interval v sekundách (s). V diagramoch je znázornený medián daného merania červenou horizontálnou čiarou a stredná hodnota modrým štvorcem.



Obrázok 43 Grafické zobrazenie nameraných časových intervalov riešenia typu menu pre všetky zadávané parametre



3 Diskusia výsledkov

Ako je možné vidieť z Tabuľka 1, ktorá porovnáva časové intervaly všetkých zapisovaných parametrov, navrhnuté riešenia využívajúce metódy zadávania hodnôt pomocou numerickej klávesnice sú časovo efektívnejšie. Zadávaním hodnôt pomocou numerickej klávesnice je možné znížiť priemerný časový interval potrebný na zadanie hodnoty skoro až o jednu sekundu. Toto je možné pomocou odstránenia procesu hľadania hodnoty v zobrazenom menu. Pri hľadaní hodnoty, ktorá sa nenachádza vo viditeľnej časti otvoreného menu, musí subjekt interagovať s posuvníkom, ktorý sa nachádza v pravej časti menu. Tento proces komplikuje interakciu s užívateľským prostredím a čerpá mentálnu kapacitu riadiaceho, ktorý hodnotu musí hľadať.

Interakcia medzi navrhnutými riešeniami, v ktorých sa hodnoty zadávajú pomocou numerickej klávesnice sú iba relatívne malé rozdiely naprieč všetkými parametrami ako je zobrazené v Tabuľka 6. V riešení pri ktorom interaguje užívateľ s počítačovou myšou a hodnoty zadáva pomocou numerickej klávesnice je možné vidieť štatistické ukazovatele s vyššími hodnotami. Tento rozdiel indikuje presun ruky z počítačovej myši nad numericnú klávesnicu, ktorý vyžaduje presnú koordináciu ruky do správnej polohy nad numericnú klávesnicu. Niektoré subjekty boli schopné ovládať počítačovú myš jednou rukou a druhou zadávali hodnoty do numerickej klávesnice, čo ešte viac urýchlilo interakciu s prostredím. Ale počet subjektov, ktorý si zvolili túto metódu zadávania hodnôt bol malý.

Tabuľka 6 Stredné hodnoty \bar{x} , mediány $\tilde{x}_{0,5}$, dolné kvartily $\tilde{x}_{0,25}$ a horné kvartily $\tilde{x}_{0,75}$ meraných riešení myš, 1234, WASD pre všetky zadávané parametre.

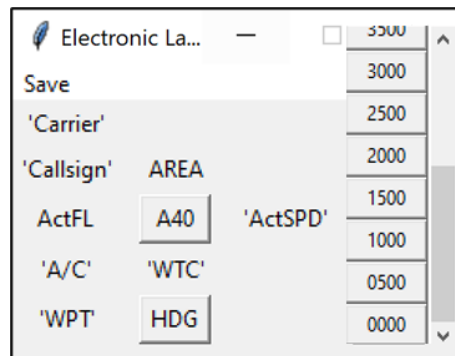
	\bar{x}	$\tilde{x}_{0,5}$	$\tilde{x}_{0,25}$	$\tilde{x}_{0,75}$
myš	1,48	1,22	0,94	1,64
1234	1,27	1,1	0,78	1,53
WASD	1,27	1,07	0,75	1,52



V prípade porovnaní interakcií pri zadávaní parametru vertikálnej rýchlosti stúpania, zobrazenom na Obrázok 42 je možné pozorovať výsledky interakcií s menu podobné ako pri zadávaní numerickej hodnoty, ako je možné vidieť aj v Tabuľka 7. Pri zadávaní parametru vertikálnej rýchlosti stúpania v menu, riadiaci volí hodnotu z malého rozsahu používaných rýchlostí a hodnota je v menu uvádzaná s intervalom 500 stôp za minútu, ako je možné vidieť na Obrázok 44. Toto minimalizuje nutnosť interakcie s posuvníkom a umožňuje rýchle zvolenie hodnoty. Ďalším zaujímavým parametrom je medzikvartilové rozpätie ($q = 0,64$) a smerodajná odchýlka ($\sigma = 0,67$), ktoré sú v prípade interakcie s menu najnižšie v porovnaní s ostatnými riešeniami. To je indikátorom schopnosti rýchleho zadávania hodnoty parametru subjektmi s rôznymi skúsenosťami práce s prostredím. Rozsiahly rozdiel medzi vertikálnou rýchlosťou stúpania a ostatnými parametrami je možné vidieť aj na Obrázok 43, kde sú porovnané intervaly zadávaných parametrov pri zadávaní pomocou riešenia typu menu.

Tabuľka 7 Stredné hodnoty \bar{x} , smerodajné odchýlky σ , mediány $\tilde{x}_{0,5}$, dolné kvartily $\tilde{x}_{0,25}$, horné kvartily $\tilde{x}_{0,75}$ a medzikvartilové rozpätia q meraných riešení pre zadávaný parameter vertikálnej rýchlosti stúpania.

	\bar{x}	σ	$\tilde{x}_{0,5}$	$\tilde{x}_{0,25}$	$\tilde{x}_{0,75}$	q
menu	1,63	0,67	1,46	1,21	1,85	0,64
myš	1,46	0,91	1,36	0,86	1,72	0,86
1234	1,3	0,8	1,16	0,75	1,57	0,81
WASD	1,31	0,96	1,14	0,77	1,62	0,85



Obrázok 44 Výber hodnoty vertikálnej rýchlosti stúpania pomocou zvolenia možnosti z menu

Pred jednotlivými meraniami bola poskytnutá iba jednoduchá prezentácia fungovania jednotlivých riešení. Jedným z cieľov navrhnutých riešení bol vývin prostredia s okamžitou dostupnosťou pre neskúsených užívateľov. Každopádne časom získané skúsenosti by sa mohli pozitívne prejavíť na časových intervaloch jednotlivých riešení. Subjekty boli pred zahájením testovania na účel tejto práce vystavované iba riešeniu implementovanom v prostredí ESCAPE Light.

Zadávanie hodnôt parametrov pomocou numerickej klávesnice bolo vytvorené pre podporu mentálneho modelu riadiaceho. Cieľom bolo odstránenie nutnosti niekoľko krokových interakcií s menu a nahradenie riešenia s jednoduchším typom zadávania informácií. Ideálnou podporou by bola schopnosť zadávania hodnôt povolení už počas výkonu komunikačného oznamovania informácií.

Pri analýze dát zadávaných do systému boli pri niektorých subjektoch pozorované chyby v numerických hodnotách. Tieto chyby sa primárne týkali zlého porozumenia počúvanej audio nahrávky, nezadania hodnoty z dôvodu časovej náročnosti merania alebo zvolenia chybného parametru. Neznalosť prostredia taktiež prispieva k chybným úkonom subjektov. Chyby neboli v procese vyhodnocovania dát zohľadňované, nakoľko riadiaci letovej prevádzky nezadáva do elektronického formuláru hodnoty, ktoré sú mu diktované, ale sám ich určuje podľa svojho rozhodnutia. Zameranie práce bolo na rýchlosť interakcie a zníženie mentálnej záťaže pri práci s elektronickým formulárom, merania neboli cieleňé na presnosť.

Počas testovania subjektov boli objavené limitácie navrhnutého experimentu, ktoré sú potenciálnym základom pre ďalší rozvoj výskumu. Jednou potenciálnou formou rozvoja je využitie navrhnutých riešení pri simuláciách v prostredí ESCAPE Light so zameraním na chyby subjektov. Pomocou tejto formy by bolo možné eliminovať chyby



spôsobené jazykovou bariérou pri počúvaní audio nahrávky a časovou náročnosťou vykonaného experimentu. V prípade záujmu analýzy chýb by počet zadávaných hodnôt mal byť v štatisticky významnejšom počte, čo by samozrejme predstavovalo väčšiu časovú náročnosť experimentu. Sledovanie interakcií na menšej množine subjektov pri opakovaných meraniach by umožnilo pozorovať proces oboznamovania sa s prostredím a potenciálny nárast rýchlosti manipulácie s traťovým štítkom.

Subjekty podrobené meraniu vyjadrili pozitívnu spätnú väzbu k schopnosti zadávania parametrov pomocou numerickej klávesnice, aj keď sa preferencia medzi navrhnutými riešeniami líšila. Vytknutou vlastnosťou návrhu pre označovanie parametrov pomocou tlačidiel na numerickej klávesnici bolo chybné označenie požadovaného parametru pri rýchlom zadávaní hodnôt. Medzi označovaním parametru pomocou numerickej klávesnice a následné zadanie hodnoty vytváralo problém hlavne v prípade, kedy číslo parametru a zadávaná hodnota mali rovnaké číslo. Napríklad v prípade voľby rýchlosti pomocou tlačidla '2' a následného zadania hodnoty 200 uzlov.

Navrhnuté riešenia označovania parametrov pomocou príslušných tlačidiel na klávesnici vyžadovali vyššiu mentálnu sústredenosť pri voľbe požadovaného parametru z dôvodu chýbajúcej skúsenosti s priradením tlačidiel a parametrov. Častou výčitkou bolo použitie tlačidla 's' pre zvolenie parametru vertikálnej rýchlosti stúpania. Odporúčaným riešením bolo využitie tlačidla 'r', kvôli korelácií s anglickým označením 'Rate of Climb'. Cieľom riešenia označovania parametru pomocou tlačidiel s písmenami mala byť eliminácia potreby presného označenia parametru v oblasti elektronického formuláru. Pre označenie parametru by stačilo presunúť ukazovateľ do priestoru elektronického formuláru, kde zvolenie parametru by bolo vykonané pomocou tlačidla klávesnice.

V prípade zadávania navigačných bodov by nebolo praktické zvoliť formu vstupu pomocou klávesnice. Vstup pomocou numerickej klávesnice je určený iba na urýchlenie zadávania numerických hodnôt s vysokým rozsahom dostupných možností. Funkcionalita elektronického formuláru samotného je dosť obmedzená, preto by som odporučil kombináciu elektronických formulárov a elektronických stripov. Zvýšením počtu informácií v elektronickom formulári by sa jeho plocha na obrazovke značne zväčšila a mohla by negatívne ovplyvniť schopnosť jednoduchosti práce s elektronickým formulárom. Elektronický formulár na obrazovke radaru je prívetivým doplnkom pre zvýšenie efektívnosti riadenia letovej prevádzky a podporu



mentálneho modelu riadiaceho práve vďaka usporiadaniu pozostávajúceho iba z najdôležitejších informácií.

Zadávanie hodnôt pomocou menu je primeraný spôsob pri interakcií s digitálnym perom na dotykovú obrazovku, keď klávesnica nie je používaná. Nakoľko pri interakcii so simulačným prostredím ESCAPE Light je dostupná klávesnica a myš, tento proces môže byť pomocou implementácie navrhnutých riešení zrýchlený a zefektívnený.

Jedným zo zaujímavých návrhov zadávania hodnôt je riešenie predstavené v systéme P1/VAFORIT, ktorý je opísaný v kapitole 1.4.5 Pre zadávanie hodnôt je namiesto menu využívaná dotyková obrazovka, kde sú hodnoty zobrazené na dostatočne veľkej ploche, čo eliminuje nutnosť práce s menu. V prípade dlhodobej práce s takýmto riešením by zadávanie hodnôt do elektronického formuláru mohlo byť ešte efektívnejšie a rýchlejšie. Bohužiaľ výskum v tejto oblasti zatiaľ neexistuje.



4 Závěr

Táto diplomová práca je zameraná na riadiacich letovej prevádzky a ich manipuláciu s traťovými štítkami. Cieľom je predstaviť optimálne riešenie interakcie s elektronickými formulármi, traťovými štítkami a rozvinúť diskusiu o problematike, ktorej sa aktuálne nevenuje žiadna pozornosť. Interakcia s traťovými štítkami ovplyvňuje prácu riadiaceho letovej prevádzky a prispieva k optimalizácii a efektívnosti vykonávaných úkonov.

Teoretická časť obsahuje analýzu práce a procesov riadiaceho letovej prevádzky s traťovými štítkami a implementované nástroje, ktoré sú v súčasnej dobe vyvíjané na trhu. Následne boli predstavené rôzne spôsoby interakcie s traťovými štítkami a diskutované ich limitácie. Pre základ návrhov interakcie s traťovým štítkom bolo použité simulačné softvérové prostredie ESCAPE Light, ktoré je používané na Ústave leteckej dopravy, Fakulty dopravnej, Českého vysokého učení technického v Prahe pre účely výuky a výskumu.

V práci sú vytknuté limitácie implementovaného riešenia interakcie v prostredí ESCAPE Light, na ktorých základe boli navrhnuté tri riešenia. Všetky varianty boli vytvorené vo forme grafického užívateľského prostredia, pomocou programovacieho jazyka Python, imitujúce traťové štítky v prostredí ESCAPE Light. Následné testovanie prebiehalo v laboratóriu ATM na Ústave leteckej dopravy. Výsledky boli analyzované a na základe získaných poznatkov je možné tvrdiť, že potenciálne zvýšenie efektívnosti práce s traťovými štítkami pri implementácii alternatívnych riešení je dosiahnuteľné. V práci sú vytknuté limitácie navrhnutého experimentu a testovaných riešení, ktoré vytvárajú základ pre nasledujúcu akademickú prácu. Ďalší výskum v tejto oblasti je nevyhnutný pre analýzu presnosti a integrácie do prostredia riadenia letovej prevádzky.

Zameranie sa na rozhranie človek-stroj (HMI) je dôležitým faktorom pri navrhovaní všetkých interakčných riešení a v súčasnej dobe tomu nie je verejne venovaná žiadna pozornosť. Spolupráca s riadiacimi letovej prevádzky je podstatnou súčasťou vývoja dizajnu traťových štítkov a preto je vhodné využitie modelu Human-in-the-loop pri implementácii navrhnutých riešení.

Je predpoklad, že táto práca poslúži pri rozvoji diskusie o interakciách s traťovými štítkami a prispeje k optimalizácii aktuálne využívaných riešení. Upozornením na oblasť výskumu, ktorý v dnešnej dobe nie je dostupný, vytvára potenciál k optimalizácii prevádzkových procesov používaných v riadení letovej prevádzky.



Zoznam použitej literatúry

- [1] BERNDTSSON, Johan a Maria NORMARK. The coordinative functions of flight strips. In: *Proceedings of the international ACM SIGGROUP conference on Supporting group work - GROUP '99* [online]. New York, New York, USA: ACM Press, 1999, s. 101-110 [cit. 2022-09-03]. ISBN 1581130651. Dostupné z: doi:10.1145/320297.320308
- [2] DURSO, Francis T., 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]. 2008, **18**(3), 268-289. ISSN 1532-7108. Dostupné z: doi:10.1080/10508410802073582
- [3] BERGNER, Jörg a Oliver HASSA. Air Traffic Control. In: STEIN, Michael a Peter SANDL, ed., Michael STEIN, Peter SANDL. *Information Ergonomics* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, s. 197-225 [cit. 2022-09-03]. ISBN 978-3-642-25840-4. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-642-25841-1_7
- [4] FEWINGS, Rodney. *Air Traffic Management*. Dostupné z: doi:10.1002/9780470686652.eae483
- [5] *European air traffic management: principles, practice and research*. Editor Andrew COOK. Aldershot: Ashgate, 2007. ISBN 0754672956.
- [6] *EUROCONTROL: Supporting European Aviation* [online]. In: . Dostupné také z: <https://www.eurocontrol.int/about-us>
- [7] FLATHERS, G.W. a D.E. DORNBUSCH. The value of flight information services (FIS). In: *16th DASC. AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference. Reflections to the Future. Proceedings* [online]. IEEE, 1997, 9.2-16 [cit. 2022-09-07]. ISBN 0-7803-4150-3. Dostupné z: doi:10.1109/DASC.1997.637298



- [8] BOOTSMA, R. a K. POLDERMAN. ATS and VTS—Some Observations Towards a Synthesis. *Journal of Navigation* [online]. 1987, **40**(1), 42-51 [cit. 2022-09-07]. ISSN 0373-4633. Dostupné z: doi:10.1017/S037346330000028X
- [9] DURAND, Nicolas, David GIANAZZA, Jean-Baptiste GOTTELAND a Jean-Marc ALLIOT. *Metaheuristics for Air Traffic Management*. Dostupné z: doi:10.1002/9781119261513.ch1
- [10] AZZOPARDI, Marc a James WHIDBORNE. *Computational Air Traffic Management*. Dostupné z: doi:10.1109/DASC.2011.6095967
- [11] CASTÁN, Javier A. Pérez a Álvaro Rodríguez SANZ. *Risk Assessment in Air Traffic Management*. 1 st. London: INTECHOPEN LIMITED, 2020. ISBN 978-1-78985-794-8.
- [12] DURSO, Francis T., Peter J. BATSAKES, Jerry M. CRUTCHFIELD, Justin B. BRADEN a Carol A. MANNING. The Use of Flight Progress Strips While Working Live Traffic: Frequencies, Importance, and Perceived Benefits. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*. 2004, **46**(1). ISSN 1547-8181. Dostupné z: doi:10.1518/hfes.46.1.32.30388
- [13] BAUER, M. a J. KALVODA. Workload Features inside Air Traffic Control Electronic Transfer Environment. *Advances in Military Technology* [online]. 2020, **15**(1), 191-199 [cit. 2022-09-09]. ISSN 18022308. Dostupné z: doi:10.3849/aimt.01356
- [14] VORTAC, O.U., Mark B. EDWARDS, Judi P. JONES, Carol A. MANNING a Allen J. ROTTER. En Route Air Traffic Controllers' Use of Flight Progress Strips: A Graph-Theoretic Analysis. *The International Journal of Aviation Psychology* [online]. **3**(4). ISSN 1532-7108. Dostupné z: doi:10.1207/s15327108ijap0304_6



- [15] EDWARDS, Mark B., Dana K. FULLER, O.U. VORTAC a Carol A. MANNING. *The role of flight progress strips in en route air traffic control: a time-series analysis*. Dostupné z: doi:10.1006/ijhc.1995.1033
- [16] TRUITT, Todd. Implementing Electronic Flight Data in Airport Traffic Control Towers. *Thirteenth International Symposium on Aviation Psychology*.
- [17] MACKAY, Wendy E. Is paper safer? The role of paper flight strips in air traffic control. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction* [online]. 1999, **6**(4), 311-340 [cit. 2022-09-03]. ISSN 1073-0516. Dostupné z: doi:10.1145/331490.331491
- [18] MANNING, C. A., F. T. DURSO, Peter James BATSAKES, Todd TRUITT a Jerry CRUTCHFIELD. *Relationship Between Age, Flight Strip Usage Preferences, and Strip Marking*.
- [19] DURSO, Francis T., Peter J. BATSAKES, Jerry M. CRUTCHFIELD, Justin BRADEN a Carol A. MANNING. When and Why Do Controllers Mark Flight Progress Strips? a Look at Live Traffic. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. 2001, **45**(2), 130-134. ISSN 1071-1813. Dostupné z: doi:10.1177/154193120104500228
- [20] TRUITT, Todd. *Comparing the Tower Operations Digital Data System to Paper Flight Progress Strips in Zero- Visibility Operations*.
- [21] MACKENZIE, I. Scott. *Human-Computer Interaction: An Empirical Research Perspective*. 1st. Amsterdam: Morgan Kaufmann, 2013. ISBN 978-0-12-405865-1.
- [22] STONE, Debbie a Caroline JARRETT. *User interface design and evaluation*. Vyd. 1. Boston: Morgan Kaufmann Publishers, 2005. ISBN 978-0-12-088436-0.



- [23] GOULD, John D. a Clayton LEWIS. *Designing for usability: Key principles and what designers think*. In: . Dostupné z: doi:10.1145/800045.801579
- [24] SCHULZE, Anna Noakes. User-Centered Design for Information Professionals. *Journal of Education for Library and Information Science*. 2001, **42**(2). ISSN 0748-5786. Dostupné z: doi:10.2307/40324024
- [25] BRANAGHAN, Russell J., Joseph S. O'BRIAN, Emily A. HILDEBRAND a L. Bryant FOSTER. Human-Computer Interaction. In: BRANAGHAN, Russell J., Joseph S. O'BRIAN, Emily A. HILDEBRAND a L. Bryant FOSTER. *Humanizing Healthcare – Human Factors for Medical Device Design* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2021, s. 307-331 [cit. 2022-10-04]. ISBN 978-3-030-64432-1. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-030-64433-8_12
- [26] ALBERT, Bill a Tom TULLIS. *Measuring the User Experience: Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics* [online]. 2nd. Morgan Kaufmann, 2013. ISBN 9780124157927.
- [27] 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, **4**(1), 1-21. ISSN 2573-0142. Dostupné z: doi:10.1145/3392833
- [28] SAVERY, Cheryl, Christophe HURTER, Rémi LESBORDES, Maxime CORDEIL a T. GRAHAM. When Paper Meets Multi-touch: A Study of Multi-modal Interactions in Air Traffic Control. In: KOTZÉ, Paula, Gary MARSDEN, Gitte LINDGAARD, Janet WESSON a Marco WINCKLER, ed., Paula KOTZÉ, Gary MARSDEN, Gitte LINDGAARD, Janet WESSON, Marco WINCKLER. *Human-Computer Interaction – INTERACT 2013* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, s. 196-213 [cit. 2022-09-19].



Lecture Notes in Computer Science. ISBN 978-3-642-40476-4. Dostupné z:
doi:10.1007/978-3-642-40477-1_12

[29] TRUITT, Todd. *High-Fidelity Simulation to Compare the Tower Operations Digital Data System to Flight Progress Strips*.

[30] DURSO, Francis T., Brian R. JOHNSON a Jerry M. CRUTCHFIELD. Dimensions of air traffic control tower information needs: From information requests to display design. *Journal of Experimental Psychology: Applied* [online]. 2010, **16**(3), 219-237. ISSN 1939-2192. Dostupné z: doi:10.1037/a0020568

[31] MACKAY, Wendy, Anne-Laure FAYARD, Laurent FROBERT a Lionel MÉDINI. Reinventing the familiar. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems - CHI '98* [online]. New York, New York, USA: ACM Press, 1998, s. 558-565 [cit. 2022-09-20]. ISBN 0201309874. Dostupné z: doi:10.1145/274644.274719

[32] HURTER, Christophe, Rémi LESBORDES, Catherine LETONDAL, Stéphane CONVERSY a Jean-Luc VINOT. *Strip'TIC: Exploring Automatic Paper Strip for Air Traffic Controllers*. In: .

[33] HURTER, Christophe, Rémi LESBORDES, Catherine LETONDAL, Jean-Luc VINOT a Stéphane CONVERSY. *Strip ' TIC : a mixed interactive space for Air Traffic Control*.

[34] LETONDAL, Catherine, Christophe HURTER, Rémi LESBORDES, Jean-Luc VINOT a Stéphane CONVERSY. Flights in my hands. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* [online]. New York, NY, USA: ACM, 2013, s. 2175-2184 [cit. 2022-09-20]. ISBN 9781450318990. Dostupné z: doi:10.1145/2470654.2481300

[35] CARLIER, S., G. GAWINOWSKI, L. GUICHARD a H. HERING. SkyTools and DigiStrips: from the technology to the European operational context. In: *20th DASC. 20th Digital*



Avionics Systems Conference (Cat. No.01CH37219) [online]. IEEE, 2001, 7E1/1-7E1/7 [cit. 2022-09-21]. ISBN 0-7803-7034-1. Dostupné z: doi:10.1109/DASC.2001.964203

- [36] MERTZ, Christophe, Stéphane CHATTY a Jean-Luc VINOT. *The influence of design techniques on user interfaces: the DigiStrips experiment for air traffic control*. HCI-Aero.
- [37] MERTZ, Christophe a Raïlane BENHACÈNE. *Users Bandwidth in Air Traffic Management: an Analysis from the HMI Point of View*.
- [38] MERTZ, Christophe, Stéphane CHATTY a Jean-Luc VINOT. *Pushing the limits of ATC user interface design beyond S&M interaction: the DigiStrips experience*. 3rd USA/Europe air traffic management R&D seminar.
- [39] BENHACENE, Raïlane, Christophe HURTER, Marion ANTHONY a Rousselle MARIE-PIERRE. *Tackling the problem of flight integration*.
- [40] BENHACENE, Raïlane a Rousselle MARIE-PIERRE. *As rapid as paper strips? Evaluation of VertiDigi, a new control tool for terminal sectors*.
- [41] BOS, Tanja, Marian SCHUVER–VAN BLANKEN a Hans HUISMAN. *Towards a Paperless Air Traffic Control Tower*. In: KUROSU, Masaaki, ed. *Human Centered Design* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011, s. 360-368 [cit. 2022-09-24]. Lecture Notes in Computer Science. ISBN 978-3-642-21752-4. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-642-21753-1_41
- [42] *Local Single Sky Implementation (LSSIP) GERMANY*. In: . Dostupné také z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/official-documents/reports/lssip2014-germany.pdf>



- [43] EUROCONTROL. *LSSIP Year 2021 for Germany: Implementation Overview*. In: . Dostupné také z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2022-05/eurocontrol-lSSIP-2021-germany.pdf>
- [44] The iCAS air traffic system, Indra's iTEC system for DFS, begins managing german skies. In: *Indra*. Germany. Dostupné také z: <https://www.indracompany.com/en/noticia/icas-air-traffic-system-indras-itec-system-dfs-begins-managing-german-skies>
- [45] *Advanced digital tower*. In: . Dostupné také z: https://www.frequentis.com/sites/default/files/support/2020-01/31_ATM_AdvancedDigitalTower_1019.pdf
- [46] FREQUENTIS AG. *Product brief: smartSTRIPS: Flight data management*. In: . Dostupné také z: https://www.frequentis.com/sites/default/files/support/2019-03/58_ATM_smartSTRIPS_1118.pdf
- [47] FREQUENTIS AG. Case Study: LVNL tower digitalisation with smartSTRIPS. In: *YouTube*. Dostupné také z: https://www.youtube.com/watch?v=UHCFHIE8qEg&ab_channel=FrequentisAG
- [48] TopSky - ATC. In: *Thales* [online]. [cit. 2022-11-03]. Dostupné z: <https://www.thalesgroup.com/en/topsky-atc>
- [49] THALES MODERNISES THE CZECH SKIES. In: *Thales* [online]. [cit. 2022-11-03]. Dostupné z: <https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/aerospace/event/thales-modernises-czech-skies>
- [50] FANTOVÁ, Olga. *NEOPTERYX - Manuál pro obsluhu TopSky pro FDO/SCA ACC Praha: Směrnice číslo: SM/21/0195*. In: .



[51] GILLET, Sophie, Angela NUIC a Vincent MOUILLET. Enhancement in realism of ATC simulations by improving aircraft behaviour models. In: *29th Digital Avionics Systems Conference* [online]. IEEE, 2010, 2.D.4-1-2.D.4-13 [cit. 2022-10-10]. ISBN 978-1-4244-6616-0. Dostupné z: doi:10.1109/DASC.2010.5655482

[52] ESCAPE: EUROCONTROL simulation capabilities and platform for experimentation. In: *EUROCONTROL* [online]. Dostupné také z: <https://www.eurocontrol.int/simulator/escape>



Zoznam príloh

Príloha 1: Zoznam príkazov riadiaceho letovej prevádzky v audio-nahrávke