



NÁVRH A REALIZÁCIA SOFTVÉROVÉHO A HARDVÉROVEHO VYBAVENIA SIMULÁTORA PRACOVISKA LETOVEJ PREVÁDZKY PRE POTREBY KATEDRY LETECKEJ DOPRAVY

Matej Remiaš

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Benedikt Badánik

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

In the aviation industry, air traffic control simulators are mainly used for training new controllers, but they also have their justification in the field of teaching. The basis of the simulator is the software in which it works and the corresponding hardware. The main topic of the final thesis is the construction of an air traffic control simulator for the needs of the Department of Air Transport at the University of Žilina, the selection of suitable software and related hardware. The hardware was selected based on the minimum requirements set by the software manufacturer for its optimal operation. This process involved a thorough market research through online stores, with the aim of finding hardware with the best price-performance ratio, which would be able to fulfill its function even after several years of its deployment. The result of this work is a functional air traffic control simulator and exercise design in the ESCAPE Light software that can be used for teaching and research at the Department of Air Transport.

Keywords

air traffic control. simulator. hardware. software. ESCAPE light

1. Úvod

Vzhľadom na potencionálne negatívne následky na ľudských životoch a majetku pri výcviku riadiacich priamo v ostrej prevádzke sú pre účely výcviku navrhnuté simulátory, na ktorých riadiaci trénuje prevádzkové postupy bez vážnych následkov. Najdôležitejšou úlohou simulátorov je v plnej miere poskytnúť prislúchajúci štandard tak, aby sa simulácia v čo najväčšej možnej miere podobala na reálnu letovú prevádzku. Počas cvičení v simulovanom prostredí sa pseudopilot snaží o to, aby sa jeho činnosť čo najviac priblížila reálnemu prostrediu. Pseudopilot je človek, ktorý v simulovanom prostredí simuluje prácu skutočného pilota pre účely výcvikového strediska. Ide o človeka, ktorý v plnej miere postupuje a koná v zmysle platných predpisov, postupov a štandardov reálnych pilotov. Zúčastňuje sa výcvikov a finálnych skúšok nových riadiacich letovej prevádzky, ale aj simulovaných cvičení a skúšok na udržanie kvalifikácie už existujúcich riadiacich.

Každý simulátor riadenia letovej prevádzky je navrhnutý pre svoj špecifický význam. Simulátory riadenia letovej prevádzky zohrávajú kľúčovú úlohu v modernom leteckom vzdelávaní a výskume. S ich pomocou je možné realisticky napodobniť rôzne scenáre letovej prevádzky, poskytovať výučbové príležitosti a vykonávať vedecké experimenty bez rizika pre ľudské životy a bez vysokých nákladov spojených s reálnymi letmi.

Tento článok sa zameriava na výber a implementáciu softvérového a hardvérového vybavenia do simulátora riadenia letovej prevádzky na Katedre leteckej dopravy a zároveň si kladie za cieľ navrhnúť a vytvoriť cvičenie, ktoré by študentom umožnilo osvojiť si základné praktické zručnosti pri poskytovaní leteckých navigačných služieb.

V súčasnosti je k dispozícii viacero softvérových produktov určených na simuláciu letovej prevádzky, pričom každý z nich má

svoje vlastné špecifikácie a možnosti. Avšak v podmienkach Katedry leteckej dopravy sa používa softvér ESCAPE Light, ktorý je vyvinutý Eurocontrolom pre výcvik a výskum a je dostupný s platnou licenciou pre univerzitné účely.

Okrem softvérového vybavenia je tiež dôležité venovať pozornosť hardvérovým potrebám simulátora. Správne navrhnutý a implementovaný hardvér je kľúčom k zabezpečeniu plynulého a efektívneho fungovania simulácií.

Tento článok sa zaoberá nielen teoretickými aspektmi simulátora riadenia letovej prevádzky, ale aj jeho praktickou implementáciou. Výstupom práce je zhotovený simulátor riadenia letovej prevádzky a návrh cvičenia v softvéri ESCAPE Light, ktoré môžu aktívne využívať nielen študenti predmetu Manažment letovej prevádzky, ale aj pedagógovia a môže byť zdrojom pre ďalšie záverečné práce.

2. Metodika a metódy skúmania

V simulátore ATC Katedry leteckej dopravy sa používa softvér ESCAPE Light, ktorý sa vyznačuje reálnymi simuláciami, rozsiahlou databázou lietadiel, možnosťou vytvárať vlastné vzdušné priestory a bezplatnou licenciou pre univerzitné použitie [1][2]. Na jeho spustenie a prevádzku sa kladú odporúčané softvérové a hardvérové požiadavky stanovené Eurocontrolom.

2.1. Softvérové požiadavky

Filezilla

FileZilla je bezplatný softvér pre prenos súborov prostredníctvom protokolu FTP. Skladá sa z klienta a servera a umožňuje užívateľom prenášať rôzne dáta cez internet. Táto

aplikácia je využívaná na sťahovanie softvéru ESCAPE Light a iných súborov

VirtualBox

VirtualBox je bezplatný softvér, ktorý umožňuje vytváranie a spravovanie virtuálnych počítačov priamo na fyzickom počítači. Tento program beží na operačnom systéme ako bežná aplikácia a umožňuje nainštalovať a spúšťať iné operačné systémy v izolovaných virtuálnych prostrediach. Je dostupný pre platformy Windows, macOS, Linux. V prípade operačného systému Windows je jeho inštalácia potrebná na spustenie ESCAPE Light

Discord

Discord je softvér určený pre hlasovú a textovú komunikáciu cez internet. V rámci simulátora slúži na komunikáciu medzi platformovými počítačmi

Operačný systém

Ideálnym operačným systémom je Linux, avšak pre prívetivejšie užívateľské prostredie, môže byť nainštalovaný aj operačný systém Windows na ktorom je možné operačný systém Linux virtualizovať pomocou VirtualBoxu.

2.2. Hardvérové požiadavky

Počítače

Tabuľka 1: Odporúčané požiadavky na počítače podľa typu pozície

Komponent	Pseudopilot	Hlavný server + riadiaci
Procesor	Intel Core i5 12. a vyššej generácie	Intel Core i7 12. a vyššej generácie
Úložisko	500 GB SSD	500 GB SSD
Pamäť RAM	16 GB	32 GB
Grafická karta	Výkonná grafická karta	Výkonná grafická karta

Monitory

Súčasťou konzoly boli aj dva monitory, ktoré sú vyznačené číslami 4 a 5 na obrázku č.1. V prípade monitora č. 4 sa jedná o 20 palcový monitor NEC MultiSync LCD2080UXI-BK so vstupmi DVI a VGA a rozlíšením HD. Monitor č.5 je špeciálne navrhnutý pre potreby RLP a nie je komerčne dostupný na trhu. Jeho prepojenie s počítačom zabezpečujú vstupy VGA a DVI. Priestor vyznačený číslami 1 a 2 na obrázku č. 1 vyznačuje miesto pre výstup meteorologických radarov, ktorých maximálna uhlopriečka musí dosahovať 30 palcov. Miesto vyznačené číslom 3 zobrazuje priestor pre výstup prehľadového systému, ktorého maximálna uhlopriečka musí dosahovať 43 palcov. V časti vyznačenej číslami 6, 7 a 8 môže byť výstup správ METAR a letových stripov dostupných pre riadiacích. Ďalšie potrebné monitory sú pre pozíciu pseudopilota.

Odporúčania rozlíšenia EUROCONTROLU pre monitory sú nasledovné [3]:

- Hlavný server – odporúčané rozlíšenie 1920x1080 pixelov a viac
- Riadiaci – odporúčané rozlíšenie 1920x1080 pixelov a viac
- Pseudopilot – požadované rozlíšenie 1680x1050 pixelov a viac



Obrázok 1: Konzola simulátora

Ostatný hardvér

• Slúchadlá

Slúchadlá musia obsahovať mikrofón a slúžia na prenos informácií hlasovou komunikáciou.

• Sieťový prepínač / Router

Sieťový prepínač alebo router sa používa na prepojenie viacerých počítačov do jednej siete, umožňujúc im komunikovať a zdieľať zdroje, ako sú súbory alebo tlačiarne. Pre spoľahlivú komunikáciu medzi počítačmi je potrebné mať kvalitnú sieťovú infraštruktúru s dostatočnou kapacitou a spoľahlivosťou.

• Káble

Káble slúžia na prenos obrazu medzi počítačom a monitorom.

2.3. Výber hardvéru

Výber hardvéru spočíval v prieskume trhu jednotlivých komponentov na webových stránkach heureka.sk a alza.sk [4][5]. Vyberali sa najlacnejšie ponuky na trhu, ktoré zároveň spĺňali požiadavky a kladli dôraz na budúci vývoj technológií. Pre lepší výber, boli vždy navrhnuté minimálne 3 ponuky. Z dôvodu finančného rozpočtu Katedry leteckej dopravy a pravidiel verejného obstarávania sa od niektorých návrhov upustilo.

2.4. Implementácia softvérového a hardvérového vybavenia simulátora

Táto časť článku sa venuje samotnej realizácii a implementácii softvérového a hardvérového vybavenia do simulátora riadenia letovej prevádzky na Katedre leteckej dopravy.

Počítače

V tabuľke č. 2 sú zobrazené parametre jednotlivých počítačov. Súčasťou počítačov je aj príslušenstvo, konkrétne klávesnica a myš. Počítač pre pseudopilota disponuje integrovanou Wi-Fi, zatiaľ čo ostatné počítače majú samostatnú anténu na pripojenie k sieti.

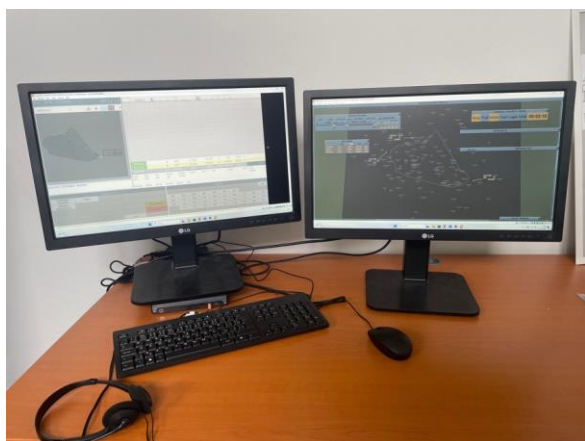
Počítače určené ako hlavný server a pre riadiaceho sú umiestnené v zadnej časti konzoly ATC. Počítač pre pseudopilota je umiestnený na stole určenom ako pozícia pre pseudopilota.

Tabuľka 2: Počítače simulátora ATC Katedry leteckej dopravy

Komponent	Pseudopilot	Hlavný server + riadiaci
Procesor	Intel core i5-13500T, 14 jadrový	Intel Core i7-13700F, 16 jadrový
Úložisko	16 GB, DDR4	2 x 16 GB, DDR4
Pamäť RAM	512 GB SSD	512 GB SSD, 1 TB HDD
Grafická karta	Intel UHD Graphics	GIGABYTE RTX3060 GAMING OC 8G GV-N3060GAMING OC-8GD
Operačný systém	Windows 11 Professional	Windows 11 Professional

Monitory

Ako monitory výstupu pre pseudopilota boli zvolené 24 palcové LG 24MB37PM s rozlíšením FULL HD. Monitory majú konektory VGA a DVI a sú majetkom Katedry leteckej dopravy.



Obrázok 2: Monitory výstupu pre pseudopilota

Ako monitory výstupu meteorologického radaru boli zvolené 30 palcové Apple Cinema HD s rozlíšením HD. Tento model monitora má zabudovaný výstupný kábel DVI-D spolu s obrazovkou. Monitory boli venované Katedre leteckej dopravy.



Obrázok 3: Monitory výstupu meteorologického radaru

Ako monitor pre výstup prehľadového systému bol vybraný 43-palcový televízor Amazon Fire TV 4-Series s rozlíšením 4K. Tento televízor disponuje 4 vstupmi HDMI, čo umožňuje pohodlné prepojenie obrazu z počítača. Televízor bol venovaný Katedre leteckej dopravy.



Obrázok 4: Monitor výstupu prehľadového systému

Prepojenie monitorov s počítačmi

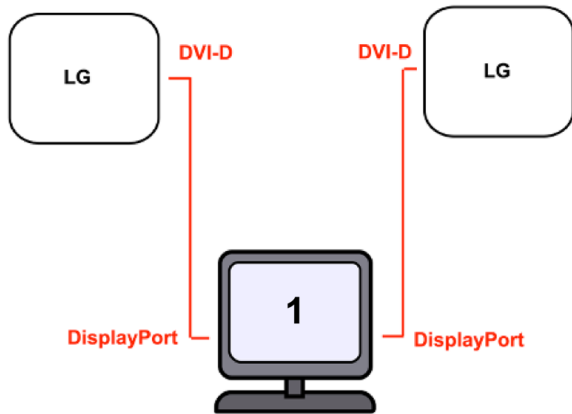
Na zabezpečenie prenosu obrazu z počítačov na monitory je nutné k nim správne pripojiť vhodné káble. Počítač pseudopilota je integrovaný s obrazovkami LG 24MB37PM prostredníctvom kábla DVI-D – DisplayPort, kde konektor DVI-D je pripojený k vstupu monitora a konektor DisplayPort je priamo zapojený do vstupu počítača.

Na obrázku č. 6 je zobrazené riešenie prepojenia počítačov hlavného servera a riadiaceho s monitormi konzoly ATC. Počítač č.2, určený pre riadiaceho, je pripojený k monitoru Apple Cinema HD pomocou redukcie výstupného kábla monitora z DVI-D na HDMI. Okrem toho je počítač č.1 spojený s televízorom Amazon Fire TV 4-Series pomocou HDMI – HDMI kábla.

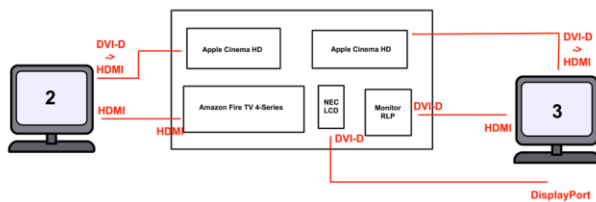
Počítač č.3, ktorý slúži ako hlavný server, má rovnaké prepojenie s monitorom Apple Cinema HD ako počítač č.1. Monitor NEC MultiSync LCD2080UXI-BK je prepojený s počítačom č.3 pomocou DVI-D – DisplayPort kábla, pričom DVI-

D je pripojené k vstupu monitora a DisplayPort je pripojený k vstupu počítača.

Posledné prepojenie je medzi monitorom zo ĽP a počítačom č.2. Toto prepojenie je uskutočnené pomocou DVI-D – HDMI kábla, pričom DVI-D je pripojené k vstupu monitora a HDMI je pripojený k vstupu počítača.



Obrázok 5: Schéma prepojenia počítača pre pseudopilota (č. 1) s monitormi



Obrázok 6: Schéma prepojenia počítačov riadiaceho (č. 2) a hlavného servera (č.3)s monitormi na konzole

Prepojenie počítačov v miestnej sieti

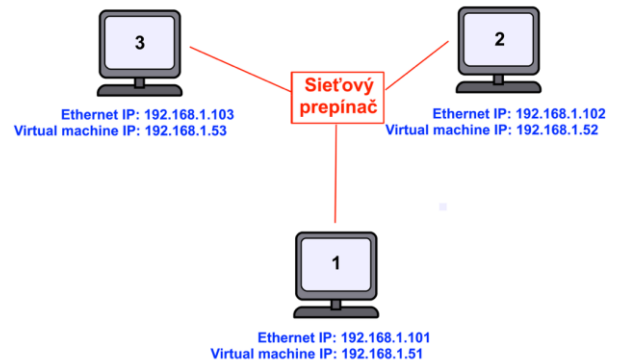
V prostredí VirtualBox je kľúčové zabezpečiť efektívnu komunikáciu medzi počítačmi hlavného servera, riadiaceho a pseudopilota prostredníctvom spoločnej miestnej siete. Túto úlohu zabezpečuje sieťový prepínač spolu s káblami LAN, ktoré umožňujú prenos údajov medzi jednotlivými počítačmi. Sieťový prepínač D-Link GO-SW-5E, s 5 portmi LAN, bol zvolený ako optimálna voľba pre pripojenie viacerých zariadení v sieti.

Po pripojení počítačov k prepínaču nasleduje nastavenie ich statických IP adries, čo je nevyhnutné pre stabilné a spoľahlivé komunikačné spojenie. V prostredí operačného systému Windows sa po pripojení k prepínaču objavujú dve nové siete, Ethernet a Ethernet 2, pričom sieť Ethernet 2 je priradená virtuálnemu prostrediu VirtualBox, umožňujú tak komunikáciu medzi virtuálnymi počítačmi a hosťateľským systémom.

Pre optimálne fungovanie softvéru ESCAPE Light boli navrhnuté statické IP adresy pre jednotlivé počítače s ohľadom na rozsah IP adries tohto softvéru. Virtuálnym strojom VirtualBoxu boli pridelené IP adresy v logickom poradí, ktoré korešpondovali s

ich pozíciami v sieti - číslo 1 pre počítač pseudopilota, číslo 2 pre počítač riadiaceho a číslo 3 pre počítač hlavného servera.

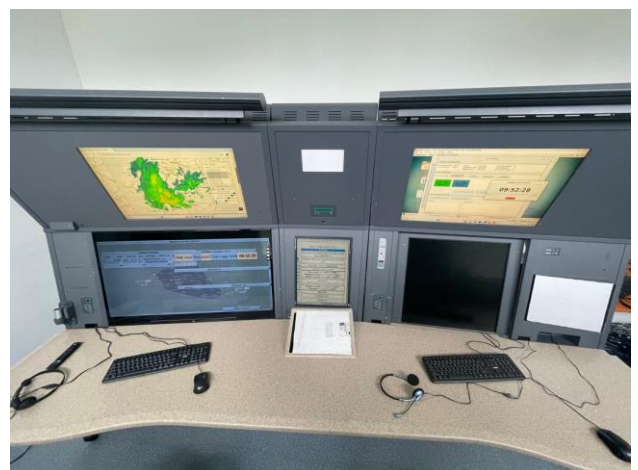
Následne bolo nutné nastaviť sieťové adaptéry pre jednotlivé virtuálne stroje vo VirtualBoxe, povoliť ich pripojenie k "Bridged Adapter" a nastaviť promiskuitný mód na "Allow all VM", čím sa zabezpečila správna komunikácia medzi počítačmi vo virtualizovanom prostredí. Tieto kroky sú kľúčové pre zabezpečenie funkčnosti siete a komunikáciu medzi jednotlivými počítačmi v simulovanom prostredí riadenia letovej prevádzky.



Obrázok 7: Schéma priradovania IP adries jednotlivým počítačom

Ostatný hardvér

Ako slúchadlá boli vybrané Genius HS-200C Dual Jack. Slúchadlá patria k najlacnejším na trhu a dobre simulujú akustiku v lietadle. Priestory 6,7, a 8 na obrázku č.1 boli vyplnené vyrezanou plastovou doskou, na ktoré boli umiestnené letové stripy pre riadiaceho, lokálne frekvencie a mapa preletových tratí horného vzdušného priestoru Slovenska. Jednotlivé pomôcky je možné meniť podľa potreby. Záverom tejto časti práce je plne funkčný simulátor ATC Katedry leteckej dopravy po softvérovej ako aj hardvérovej stránke.

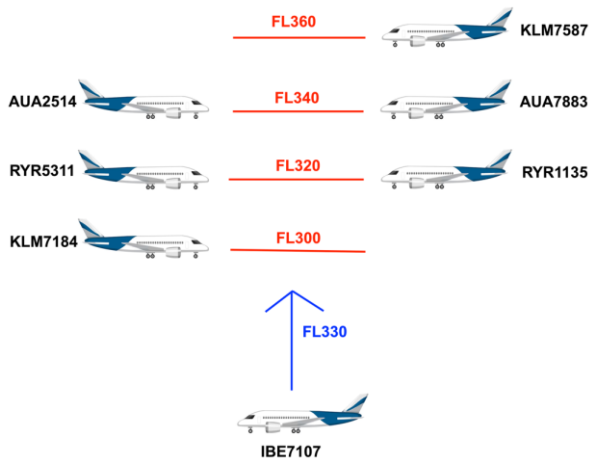


Obrázok 8: Simulátor bez ostatného hardvéru

2.5. Návrh cvičenia v ESCAPE Light

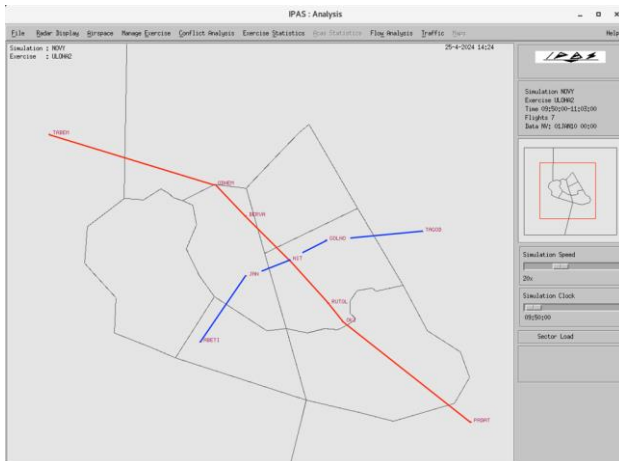
Táto časť článku sa venuje návrhu cvičenia pre študentov v softvéri ESCAPE Light. Cvičenie by malo overiť schopnosť

študentov odriadiť vzdušný priestor s ohľadom na platné predpisy a bezpečnosť jednotlivých letov. Toto cvičenie je zamerané najmä na vertikálnu separáciu lietadiel. Názov cvičenia je „Zložitá vertikálna separácia lietadiel“, ktoré spadá pod súbor Uloha2 a je časťou simulácie NOVY. Celkovo sa nachádza v cvičení 7 letov, ktoré prelietavajú vzdušný priestor Maďarska, Slovenska a Česka. Lety AUA2514, RYR5311 a KLM7184 letia trasu TABEM, ODNEM, BERVA, NIT, RUTOL, OKI, TPS, PADAT a DEGET v letových hladinách 340, 320 a 300 v poradí ich menovania. Lety KLM7587, AUA7883 a RYR1135 letia tú istú trasu, ale opačne v letových hladinách 360, 340 a 320 v poradí ako boli menované. Posledný let IBE7107 nasleduje body ABETI, JAN, NIT, GOLNO a TAGOD a križuje trasu TABEM – DEGET v bode NIT. Letová hladina letu IBE7107 je 330.



Obrázok 9: Schéma návrhu cvičenia v ESCAPE Light

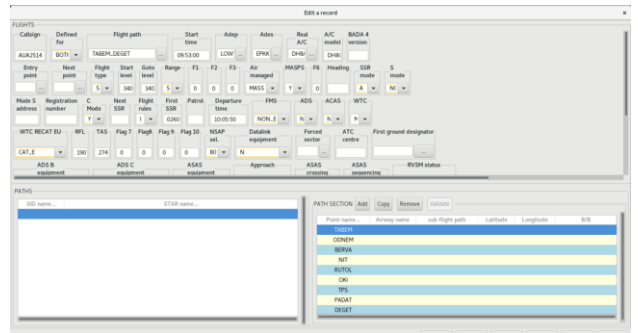
Počiatkový čas simulácie je 09:50:00, v ktorom zároveň začínajú lety AUA2514 a AUA7883. V čase 09:53:00 pokračujú lety RYR5311 a RYR1135. O 12 minút neskôr v čase 10:05:00 pokračujú lety KLM7184 a KLM7587. Posledný let IBE7107 začína v čase 10:05:50.



Obrázok 10: Vyznačené trasy letov v IPASE

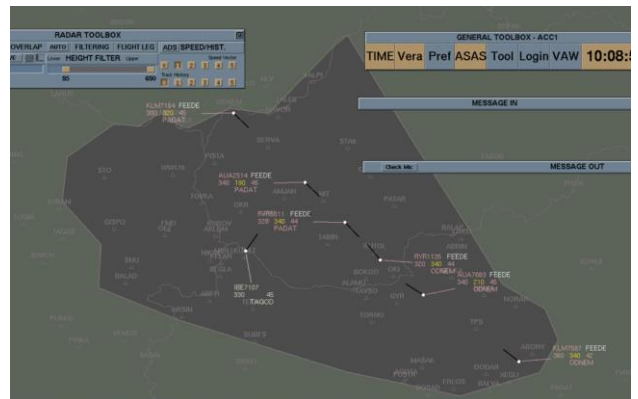
Tvorenie cvičenia začína v časti IPAS softvéru ESCAPE Light, pričom je dôležité dopredu poznať cieľ cvičenia. IPAS sa spúšťa príkazom ipas v príkazovom riadku a jeho spustenie sa potvrdí zadaním y. V IPASE je možné navrhovať vlastný vzdušný priestor, premávku, meteorologické podmienky a správanie jednotlivých

lietadiel. Lietadla nesmú mať rovnaké číslo letu ani kód odpovedača, inak to systém vyhodnotí ako chybu.

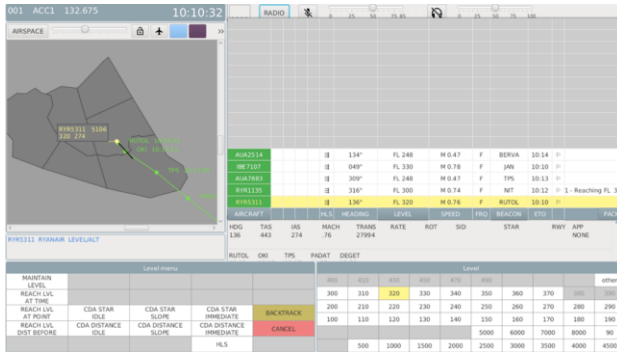


Obrázok 11: Nastavenia vlastností letu AUA2514

Z najdôležitejších parametrov, ktoré je možné určiť lietadlu sú jeho typ, trasa, počiatkový čas, kód odpovedača, letová hladina pri počiatku a cieľová letová hladina, TAS, letiská vzletu a pristátia a mnoho iného. Trasu je potrebné definovať bodmi, ktoré sú súčasťou navrhovaného vzdušného priestoru. Predtým ako sa simulácia odošle do časti Ground, kde sa celá simulácia spúšťa a prebieha, je potrebné overiť, či sa v simulácii nenachádzajú chyby, ktoré by mohli narušiť jej priebeh. Tento proces je komplikovaný, pretože sa celé cvičenie najprv overí v sekcii PVT v IPASE a následne ešte validuje v sekcii CHECK. Po úspešnom overení funkčnosti simulácie sa simulácia môže spustiť v časti Ground. Na spustenie je potrebné v príkazovom riadku napísať príkaz "start" nasledovaný názvom simulácie. Simulácia vyžaduje tiež nastavenie pozícií pseudopilota, riadiacich a hlavného servera, aby jednotlivé počítače medzi sebou komunikovali správne. Spustenie simulácie je možné stlačením tlačidla "Start" a celý proces trvá niekoľko minút.



Obrázok 12: Pohľad na prehľadový radar riadiaceho



Obrázok 13: Pohľad na príkazový monitor pseudopilota

3. Záver

Tento článok sa venoval softvérovému a hardvérovému vybaveniu simulátora ATC na Katedre leteckej dopravy. Softvér ESCAPE Light, vyvinutý Eurocontrolom, bol základným zdrojom pre výber vhodného hardvéru do simulátora riadenia letovej prevádzky. Do simulátora boli vybrané vhodné počítače, ktoré spĺňajú požiadavky Eurocontrolu. Súčasťou počítačov bolo aj príslušenstvo, a to konkrétne myši a klávesnice. Počítače boli doplnené monitormi, ktoré zobrazujú všetky potrebné údaje. Pre dosiahnutie plynulej prevádzky softvéru bolo nevyhnutné správne prepojiť vybraný hardvér. Prenos obrazu zabezpečuje vhodná kabeláž. Sieťový prepínač zabezpečuje komunikáciu počítačov cez miestnu sieť LAN. Na to, aby komunikácia bola úspešná, bolo potrebné správne nastaviť statické IP adresy. Simulátor bol doplnený o ostatný hardvér, a to konkrétne slúchadla a zobrazenia METARu, letových stripov a frekvencií na plastových doskách.

Výsledkom práce je funkčný simulátor ATC a návrh cvičenia v softvéri ESCAPE Light, ktoré sa týka vertikálnej separácie lietadiel.

Simulátor riadenia letovej prevádzky predstavuje dôležitý nástroj v leteckom vzdelávaní a výskume. Jeho implementácia na Katedre leteckej dopravy predstavuje významný krok v poskytovaní vysokokvalitnej pomôcky pre študentov aj pedagógov predmetu Manažment letovej prevádzky.

Prvou a najvýraznejšou výhodou je možnosť realizácie realistických simulácií letovej prevádzky, ktoré dokonale simulujú reálne letecké prostredie. Týmto spôsobom študenti majú možnosť získavať praktické skúsenosti a trénovať svoje riadiace schopnosti v bezpečnom a kontrolovanom prostredí, bez rizika pre životy a majetok.

Okrem toho, simulátor umožňuje prispôsobiť cvičenia konkrétnym potrebám výcviku a testovania. Flexibilita softvéru ESCAPE Light umožňuje prispôsobiť parametre cvičení podľa špecifických požiadaviek a cieľov vzdelávania.

Taktiež, simulátor ponúka možnosť efektívnejšieho a interaktívneho výučbového prostredia. Študenti môžu priamo zažívať rôzne letecké situácie a problémy, čo posilňuje ich schopnosti rýchleho a presného rozhodovania v reálnom čase. Simulátor môže výborne slúžiť ako pomôcka pre študentov a pedagógov predmetu Manažment letovej prevádzky, ale aj ako zdroj mnohých záverečných prác.

Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra 2014 - 2020 pre projekt: Inteligentné operačné a spracovateľské systémy pre UAV, sITMS kódom projektu 313011V422, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



EURÓPSKA ÚNIA
Európsky fond regionálneho rozvoja
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO
DOPRAVY A VÝSTAVBY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Referencie

- [1] BOUCHAL, Albert (2021). Koncept využitiu simulátora ATC na Ústavu leteckej dopravy. Praha. Diplomová práca. ČVUT. Ústav leteckej dopravy.
- [2] BOUCHADON, Philippe; HAD, Petr a BOUCHAL, Albert (2022). The Design and Implementation of Upgraded ESCAPE Light ATC Simulator Platform at the CTU in Prague. Praha. ČVUT.
- [3] EUROCONTROL (2020). Escape_Light_Pltf_Installation-guide-v5-3. Interný dokument. EUROCONTROL.
- [4] Heureka (2024). Online. Dostupné na: www.heureka.sk
- [5] Alza (2024). Online. Dostupné na: www.alza.sk