

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

ÚSTAV LETECKÉ DOPRAVY



Adam Leng

**Tvorba 3D reprezentace paralelní dráhy na letišti
Praha v leteckém simulátoru**

Bakalářská práce

2021



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K621 **Ústav letecké dopravy**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Adam Leng

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – PIL – Profesionální pilot

Název tématu (česky): **Tvorba 3D reprezentace paralelní dráhy na letišti
Praha v leteckém simulátoru**

Název tématu (anglicky): **3D Representation of a Parallel Runway at Prague Airport
in a Flight Simulator**

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cíl práce: Vytvořte virtuální 3D reprezentaci nové paralelní RWY na letišti Praha, využitelnou pro studie bezpečnosti v kontextu projektu výstavby této dráhy, formou letové simulace
- Analyzujte projekt výstavby nové paralelní dráhy na letišti Praha
- Analyzujte současné možnosti letové simulace s využitím VR
- Vytvořte reprezentaci nové paralelní dráhy ve vybrané platformě pro letové simulace
- Ověřte věrnost a funkčnost reprezentace paralelní dráhy pro budoucí simulace
- Analyzujte a navrhnete možné typy experimentů s využitím letového simulátoru a VR



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Norman J., Ashford, Salej Mumayiz, Paul H. Wright.:
Airport Engineering: Planning, Design and Development of 21st Century Airports, 4th Edition
EASA CS-ADR-DSN Aerodromes Design
Letecký předpis L14, ÚCL

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Slobodan Stojić, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **16. října 2020**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **1. prosince 2021**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

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



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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Adam Leng
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....17. srpna 2021



Pod'akovanie

Na tomto mieste by som rád poďakoval všetkým, ktorých rady mi boli nápomocné pri tvorbe tejto Bakalárskej práce. Obzvlášť vďaka patrí Ing. Slobodanovi Stojícovi PhD. za cenné rady a odborné vedenie práce. Ďalej by som chcel poďakovať Ing. Liborovi Kurzweilovi PhD. za poskytnutie podkladov pri tvorbe tejto práce, Ing. Michalovi Bavlšíkovi za odbornú pomoc a v neposlednom rade mojim rodičom a všetkým blízkym, ktorí ma podporovali nielen pri tvorbe tejto práce, ale aj počas celej doby štúdia.



Čestné prehlásenie

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

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

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

V Praze dne.....

Podpis.....

Adam Leng



Abstrakt

Autor: Adam Leng

Názov Bakalárskej práce: Tvorba 3D reprezentace paralelní dráhy na letišti
Praha v leteckém simulátoru

Škola: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta Dopravní

Rok vydania: Praha 2021

Predmetom tejto Bakalárskej práce je vytvoriť virtuálnu 3D reprezentáciu novej paralelnej dráhy na letisku Václava Havla Praha, na vybranej platforme leteckého simulátora. Objasňuje zdôvodnenie tvorby takéhoto modelu, historický vývoj dráhového systému, detailne popisuje proces modelácie a limitácie tohto modelu a navrhuje možné experimenty v leteckom simulátore. Táto reprezentácia je využiteľná pre štúdie bezpečnosti a optimalizácie nie len v kontexte projektu výstavby tejto dráhy ale aj po samotnom spustení prevádzky a to formou letovej simulácie v simulátore.

Kľúčové slová: 3D reprezentácia, model, letecký simulátor, projekt, limity, experimenty, paralelná dráha



Abstrakt

Author: Adam Leng

Name of Bachelor thesis: Creation of 3D representation of new parallel runway on airport Prague in a flight simulator

School: Czech technical university in Prague, Faculty of Transportation Sciences

Year of Publication: Prague 2021

The subject of this thesis is to create a virtual 3D representation of a new parallel runway at the Václav Havel airport in Prague, on a chosen platform of a flight simulator. This thesis describes the reasoning behind creating such a representation, historical development of runway infrastructure, describes in detail the creation of this model and its limitations, and it suggests possible experiments that can be carried out in a flight simulator. This representation can be used for safety studies in context with project and construction of this runway as well as optimization after initiation into operation, in form of flight simulation in a simulator.

Key words: 3D representation, model, flight simulator, project, limits, experiments, parallel runway



Obsah

1. Popis problematiky a ciele práce	3
2. Metodika	4
3. Dráhový systém na Letisku Václava Havla v Prahe.....	6
3.1. História dráhového systému	6
3.2. Súčasný stav dráhového systému a výhľady do budúcnosti	7
3.3. Projekt paralelnej dráhy	8
4. Analýza súčasných možností letovej simulácie	10
4.1. Dostupné systémové riešenia	10
4.1.1. Microsoft Flight Simulator 2020	10
4.1.2. Xplane 11	11
4.1.3. Prepar3D	11
4.2. Dostupné fyzické simulátory	12
4.2.1. Domáci herný simulátor	12
4.2.2. FNPT simulátor.....	12
4.2.3. Pohyblivé simulátory	13
4.3. Súčasná možnosť VR technológie	13
4.4. Zhrnutie	14
5. Postup práce pri modelovaní v prostredí World Editoru.....	15
5.1. Vstupné požiadavky a podklady	15
5.2. Výber konkrétnych častí pre účely modelácie z projektu paralelnej dráhy na letisku Václava Havla v Prahe	17
5.3. Vytvorenie podkladov pre účely modelácie	17
5.4. Postup práce v prostredí World Editoru s vizuálnou reprezentáciou výsledkov.....	19



5.5. Limitácie	24
6. Overenie vernosti a funkčnosti modelu paralelnej dráhy	25
6.1. Overenie vernosti	25
6.2. Overenie funkčnosti.....	26
7. Navrhnutie experimentov v leteckom simulátore s využitím nového modelu paralelnej dráhy	29
7.1. Všeobecné základné bezpečnostné aspekty pri používaní paralelnej dráhy.....	29
7.2. Všeobecné prevádzkové režimy používania paralelných dráh	30
7.3. Orientácia na pojazdovom systéme.....	31
7.3.1. Deň	31
7.3.2. Noc	32
7.3.3. Poveternostné podmienky	32
7.4. Hot spoty	33
7.5. Návrh experimentov	33
8. Záver	39
Zoznam použitých zdrojov	40
Zoznam obrázkov	43



Zoznam použitých skratiek

ACAS	Airborne collision avoidance system Proti zrážkový systém
AI	Artificial intelligence Umelá inteligencia
ATC	Air traffic control Riadenie leteckej prevádzky
ČVUT	České vysoké učení technické
FAA-ATD	FAA approved aviation training devices Letecké simulátory schválené Americkou Leteckou Asociáciou(FAA)
FD	Fakulta Dopravní
FNTF	Flight of navigation procedures trainer Letecký simulátor navigácie a procedúr
ILS	Instrument landing system Prístrojový pristávací systém
LVO	Low visibility operations Prevádzka za zníženej dohľadnosti
NDB	Nondirectional beacon Nesmerový rádio maják
PAPI	Precision approach path indicator Svetelný indikátor dráhy presného priblíženia



PBN	Performance based navigation Navigácia založená na výkone
PC	Personal computer Osobný počítač
RA	Resolution advisory Príkazové odvrátenie možnej zrážky
RNAV	Area Navigation Priestorová navigácia
SID	Standard instrument departure Štandardný prístrojový odlet
STAR	Standard terminal arrival route Štandardná príletová mapa
TA	Traffic advisory Upozornenie na blízkosť lietadla
TWR	Tower Veža
VOR	Omnidirectional beacon Všesmerový rádio maják
VR	Virtual Reality Virtuálna realita



Úvod

Hlavným cieľom vypracovania tejto práce je modelácia verného 3D modelu paralelnej dráhy na letisku Václava Havla v Prahe. Ku vypracovaniu tohto modelu bolo prihladené na predpoklad blížiacej sa výstavby novej paralelnej dráhy, a na fakt že v súčasnosti neexistuje vierohodný 3D model tejto dráhy a jeho vytvorenie má predpokladanú širokú škálu využitia.

Škála využitia zahŕňa vykonanie experimentov v leteckom simulátore, vyhodnotením ich výsledkov a ich následným porovnaním a analýzou so súčasnou situáciou a možnými technickými riešeniami. Následkom uskutočnenia týchto experimentov je možné identifikovať problémové úseky pri používaní paralelnej dráhy a navrhnúť ich úpravu či prepracovanie. Týmto krokom je možné predísť nutným úpravám a rekonštrukciám novopostaveného projektu a ušetriť tak prevádzkovateľovi letiska finančné prostriedky, maximalizovať efektivitu prevádzky a zamedziť obmedzeniam, ktoré by boli následkom nutných úprav.

Letisko v Prahe dlhodobo trpelo kapacitnými problémami následkom neustále narastajúceho počtu priletajúcich a odlietajúcich lietadiel. Napriek tomu že bol tento problém utlmený príchodom pandémie Covidu-19, je predpokladané blížiace sa navýšenie frekvencie pohybov v leteckej doprave na Letisku Václava Havla a z toho prameniace potreby navýšenia kapacít letiska.

Potreba navýšenia kapacity letiska bola predpovedaná už v deväťdesiatich rokoch minulého storočia. Už v tomto čase bolo preto počítané s výstavbou novej paralelnej dráhy ku v súčasnosti hlavnej dráhe 06/24. Začiatkom dvadsiateho prvého storočia bol kapacitný problém natoľko zřejmý že muselo prísť ku štúdiám a následným úpravám dráhového a pojazdového systému.

Po krátkom popise problematiky a popise metodiky tvorby modelu nasleduje história dráhového systému na Letisku Václava Havla v Prahe



s dôkladnejším odôvodnením výstavby nového projektu a to popisom problémov momentálneho umiestnenia druhej dráhy 12/30 a výhodami spojenými s výstavbou novej dráhy 06R/24L. Ďalším pokračovaním je analýza dostupných prostriedkov pre letecké simulácie a analýza VR technológie, ktorej využitie sa postupom času stále zdokonaľuje a už v súčasnosti slúži na rôzne experimenty a výcvik pilotov.

V praktickej časti je v prvom rade popísaný výber podstatných častí z rozsiahleho projektu výstavby paralelnej dráhy. Nasleduje detailný postup tvorby modelu a vysvetlenie limitácie tohto modelu s možnými vyhlídkami na jeho zlepšenie. Ďalším krokom je popis validácie presnosti a funkčnosti modelu v leteckom simulátore. Ďalej táto práca teoreticky popisuje možné procesy využívania paralelných dráh a aj možné hrozby vyplývajúce z používania paralelných dráh v reálnej prevádzke. Prevádzka paralelných dráh totiž so sebou prináša množstvo prevádzkových problémov, ktoré je vhodné vyriešiť ešte pred samotným začatím výstavby paralelnej dráhy.

Následkom definovaných problémov vyplývajúcich z používania paralelných dráh je návrh experimentov, popis ich parametrov a očakávaných výsledkov. Vykonaním týchto experimentov v letovom simulátore je možné včas identifikovať problémové miesta projektu a navrhnúť vhodné úpravy, respektíve optimalizáciu zaužívaných postupov v reálnej prevádzke po výstavbe tejto dráhy. Medzi tieto je možné zaradiť napríklad optimalizáciu priletových a odletových segmentov, zlepšenie práce riadenia letovej prevádzky, optimalizáciu medzí povolenia, identifikáciu hot spotov a mnohé ďalšie.

V zhrnutí je hlavným výsledkom tejto práce vypracovanie dostatočne verného modelu letiska Václava Havla so zahrnutou paralelnou dráhou, z ktorého vyplýva možné získanie štúdií z hľadiska bezpečnosti a efektivity prevádzky.



1. Popis problematiky a ciele práce

Hlavným cieľom tejto práce, ako už bolo v úvode popísané, je tvorba 3D reprezentácie paralelnej dráhy na letisku Václava Havla v Prahe so zameraním na letové simulácie, vzhľadom na predpokladanú realizáciu projektu paralelnej dráhy.

Realizácia tohto projektu bola následkom pandémie Covidu-19 posunutá na doposiaľ bližšie nešpecifikovaný dátum. V súčasnej dobe avšak prichádza k oživeniu leteckej dopravy po pandémie a do niekoľkých rokov bude Letisko Václava Havla v Prahe nútené začať s výstavbou ak sa chce vyvarovať možným kapacitným problémom v budúcnosti. S touto výstavbou a následným zväčšením kapacity je takisto úzko spätý ekonomický nárast regiónu či už po turistickej alebo aj priemyselnej stránke.

Problémy, ktoré sú avšak späté s využívaním paralelných dráh je vhodné riešiť ešte pred samotnou výstavbou a to vykonaním vhodných experimentov v letovom simulátore, vyhodnotením ich výsledkov a implementáciou do reálnej prevádzky.

Avšak aj po samotnom spustení a uvedení dráhy do prevádzky je vhodná bezpečnostná analýza v spojení s efektivitou prevádzky a následný návrh možných vylepšení. Po identifikácii týchto problémov je možné opäť navrhnúť vhodné experimenty s rôznymi situáciami, s ktorými nebolo doposiaľ počítané a to v prostredí leteckého simulátora, ktoré sú, oproti experimentom v reálnej prevádzke, bezpečnejšie, ekonomickejšie a je možné ich niekoľkokrát po sebe duplikovať a podľa potreby upravovať. Následným vyhodnotením je možné analyzovať výsledky experimentov a implementovať ich do reálnej prevádzky. Týmto spôsobom je možné ušetriť značné finančné prostriedky a zvýšiť bezpečnosť prevádzky tohto letiska.



2. Metodika

V tejto časti práce je popísaná metodika podľa ktorej bola vypracovaná táto bakalárska práca. Jedná sa konkrétne o tieto časti:

1. Historický popis vývoja letiska Václava Havla v Prahe, výhľady do budúcnosti so zdôvodnením výstavby paralelnej dráhy.
2. Analýza súčasných možností letovej simulácie s využitím VR technológie. Jedná sa o všeobecnú analýzu programov, vyhodnotenie ich technických špecifikácií, vernosti a presnosti s realitou. Najpodstatnejším krokom je identifikácia možností editácie individuálnych programov, či už z hľadiska vloženia novej paralelnej dráhy, pojazdových plôch a značenia ale aj nových rádio navigačných prostriedkov, ktoré budú neoddeliteľnou súčasťou tohto projektu. V neposlednom rade musel autor práce zohľadniť fakt využiteľnosti tohto modelu pre letové a projektové štúdie. To zahŕňalo nájdenie reálnych simulátorov a porovnanie softwaru na ktorom pracujú.
3. Výber správneho programu pre tvorbu modelu s ohľadom na vernosť, presnosť a možnosti editácie. Odôvodnenie výberu programu na základe všetkých analyzovaných parametrov. Popis limitácií vybraného softwaru. Vytvorenie porovnávacjej tabuľky, kde sú porovnávacie parametre vyhodnotené.
4. Analýza stávajúceho projektu paralelnej dráhy na Letisku Václava Havla Praha. Výber informácií, ktoré sú pre modeláciu dráhy vo vybranej platforme relevantné a odfiltrovanie informácií, ktoré nebudú pre modeláciu potrebné. Ide napríklad o podklad, ktorý reprezentuje súčasný stav, rôzne pomocné čiary a poznámky. Reprodukcia relevantných informácií vo formáte, s ktorým vybraná platforma pre letové simulácie dokáže pracovať.
5. Vytvorenie reprezentácie novej paralelnej dráhy vo zvolenej platforme pre letové simulácie. Popis jednotlivých krokov modelácie, popis prekážok a limitácií vo vernosti a presnosti modelu. Odôvodnenie nepresností a limitácií s popisom aktualizácií do budúcnosti.



6. Overenie vernosti a funkčnosti modelu paralelnej dráhy vykonaním verifikačných experimentov. Analýza dostatočnosti presnosti vypracovaného prostredia pre letové experimenty. Vyhodnotenie týchto experimentov.
7. Teoretický popis prevádzky paralelných dráh, orientácie na pojazdovom systéme letiska a zoznámenie s možnými problémami spojenými s prevádzkou. Analýza a návrh možných typov experimentov s využitím letového simulátoru a VR technológie. Popis týchto experimentov, ich ciele, využitie technológie a popis očakávaných výsledkov. Implementácia výsledkov do reálneho sveta s popisom príkladov, kde bude optimalizácia žiadúca.



3. Dráhový systém na Letisku Václava Havla v Prahe

V tejto kapitole je priblížený historický vývoj dráhového systému na Letisku Václava Havla v Prahe až po súčasný stav s výhľadmi do budúcej výstavby paralelnej dráhy. V tejto časti je takisto popísané aj opodstatnenie výstavby paralelnej dráhy na tomto letisku.

3.1. História dráhového systému

Letisko Václava Havla v Prahe bolo prvýkrát otvorené v roku 1937. (obrázok č.1) Rozvoj tohto letiska bol úzko spätý s veľkým rozvojom leteckej dopravy na území bývalého Československa ale aj celej Európy.



Obrázok č.1- Historická fotografia Letiska Václava Havla v Prahe po jeho spustení v roku 1937

[Letisko Václava Havla]

V súlade s vtedajšími predpismi malo Pražské letisko pri uvedení do prevádzky 5 trávnatých, hviezdicovo rozmiestnených dráh o dĺžke 900 až 1050 metrov. Na vzlety a pristátia sa využívali všetky dráhy, neboli teda rozdelené na príletové a odletové dráhy, vždy podľa smeru vetra.

V priebehu štyridsiatich rokov došlo k vybudovaniu prvých spevnených dráh kvôli nevyhovujúcim parametrom trávnatých dráh vzhľadom na prudko sa rozvíjajúcu leteckú dopravu. Výstavba prvej spevnenej dráhy začala už v roku 1937. Do konca nacistickej okupácie, do marca 1939 bola dostavaná približne polovica dráhového systému. V roku 1945 boli dokončené všetky štyri



plánované spevnené dráhy, jednalo sa konkrétne o dráhy: 04/22 o dĺžke 1800 metrov, 13/31 o dĺžke 1020 metrov, 08/26 o dĺžke 1320 metrov a 17/35 o dĺžke 950 metrov.

Po vojne boli vtedajšie hlavné dráhy 04/22 a 13/31 postupne predlžované aby postačovali stále narastajúcej leteckej prevádzke až do polovice šesťdesiatich rokov kedy došlo k ďalšiemu obrovskému nárastu leteckej dopravy. S týmto veľkým rozvojom sa už ale včas počítalo, preto už v päťdesiatich rokoch vznikol projekt výstavby rozšírenia dráhového systému a to výstavbou dráhy 07/25, ktorá bola postupným posunom magnetických pólov premenovaná na dráhu 06/24. Realizácia tohto projektu prebehla v šesťdesiatich rokoch kedy sa nová dráha s celkovou dĺžkou 3115 metrov stala hlavnou dráhou, následkom tejto zmeny dráha 13/31 postupne začala strácať na svojom význame. [1]

Stav tohto dráhového systému prestal z hľadiska kapacity vyhovovať už v deväťdesiatich rokoch, kedy nastalo najbúrlivejšie obdobie rozvoja v celej histórii letiska. Vzhľadom na tento fakt boli prevádzkovatelia letiska nútení prejsť do kategórie plne koordinovaných letísk, to znamená letísk, ktoré sú dopravcom plne k dispozícii ale ku ich používaniu musia pri každom lete získať letiskový slot. [1]

3.2. Súčasný stav dráhového systému a výhľady do budúcnosti

V súčasnej dobe sa na letisku Václava Havla využívajú dve dráhy, a to hlavná dráha 06/24, ktorá bola v roku 1982 predĺžená na celkovú dĺžku 3715 metrov, a druhá dráha 12/30.

Napriek stálemu rozvoju leteckej dopravy, neustále meniacim sa požiadavkám a rapídneho nárastu cestujúcich z hľadiska dráhového systému nedošlo ku výrazným zmenám.

Situácia ohľadom nedostatočnej kapacity letiska začala vrcholiť začiatkom dvadsiateho prvého storočia. Vďaka tomu sa javila viac než potrebná výstavba paralelnej dráhy, na čo promptne zareagovala Česká správa letíšť (v



súčasnosti Letiště Václava Havla Praha) v spolupráci s Řízením letového provozu, Úřadem pro Civilní letectví a pilotmi Českých aerolíní, Travel Servisu a Fischer Air, ktorí spoločne vytvorili pracovný tím pod názvom Runway Capacity Team. Ten mal za úlohu navrhnúť potrebné úpravy dráhového systému a postupy, ktoré by umožnili intenzívnejšie využitie existujúcej infraštruktúry k preklenutiu problému nedostatočnej prevádzkovej kapacity.

Vďaka snahe tohto tímu a následnému dobudovaniu a úpravám stávajúcej infraštruktúry sa podarilo navýšiť kapacitu o 34%, z 34 pohybov na 43 pohybov s možnosťou zvýšiť kapacitu v krízovej situácii až na 48 pohybov. Súčasný problém stále nie je plne vyriešený. Bol avšak posunutý do budúcnosti pandémiou Covidu-19, ktorá rapídne znížila počet pohybov. V nasledujúcich rokoch je ale predpokladaný neustály nárast frekvencie leteckej dopravy. Jediným efektívnym riešením je dobudovanie, novej, paralelnej dráhy. S jej realizáciou bolo počítané už v sedemdesiatych rokoch a to pri projekte výstavby dráhy 06/24 následkom čoho bola zapracovaná do územne plánovacej dokumentácie.

Paralelná dráha umožní ďalšie navýšenie kapacít letiska. Po jej dostavaní sa bude používať jedna dráha primárne na odlety a druhá na prílety čím sa nie len zefektívni pohyb na zemi ale aj pohyb vo vzdušnom priestore okolo letiska. Novú paralelnú dráhu budú môcť využívať všetky moderné lietadlá s rozpätím krídel do 80 metrov, súčasné dráhy spĺňajú medzinárodné štandardné parametre pre lietadlá s rozpätím do 65 metrov.[1]

3.3. Projekt paralelnej dráhy

Nová paralelná dráha bude postavená na stavebnej dĺžke 3100 metrov, bude široká 60 metrov, respektíve 45 metrov s najvyššou únosnosťou a 75 metrov s postrannými pásmi. Pás dráhy bude 3220 metrov dlhý a 300 metrov široký.

Jej konštrukcia bude v miestach s extrémnym zaťažením tuhá s cementobetónovým povrchom. Na ostatných miestach bude použitý živичný povrch. Ochranná vrstva sa bude skladať z štrkopiesku, podkladové vrstvy budú

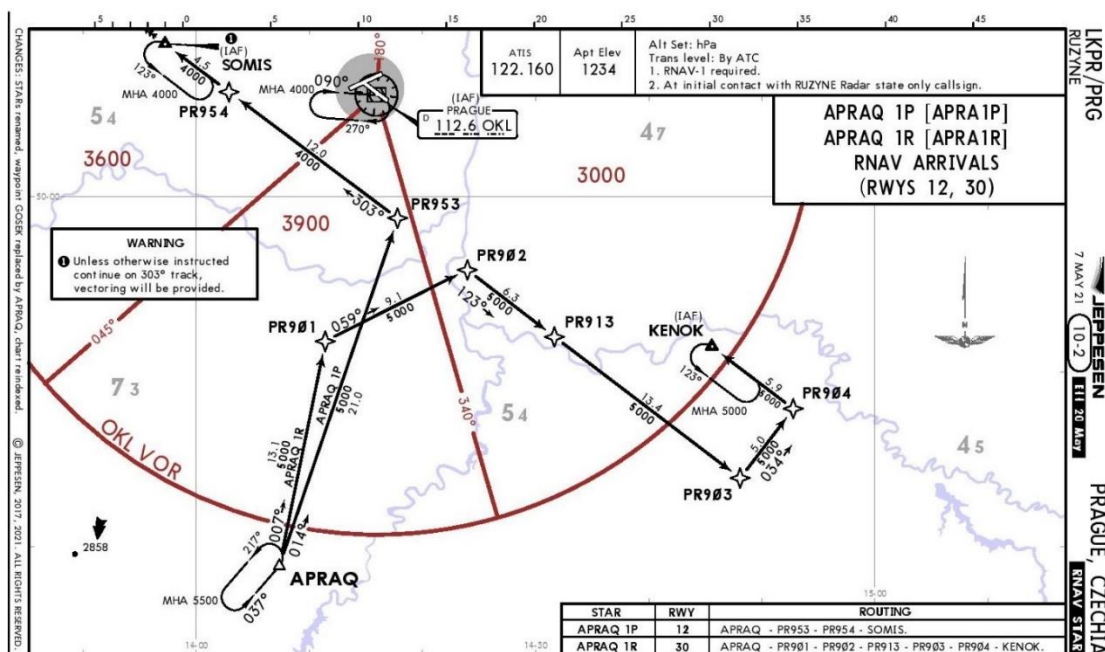


zo štrkodrte s cementovou stabilizáciou, kryt bude buď cementobetónový alebo asfaltobetónový. Celková hrúbka konštrukcie bude približne jeden meter.

Táto nová dráha bude umiestnená v lokalite existujúcej nevyužívanej dráhy 04/22, ktorá je mimo prevádzku a používa sa na parkovanie lietadiel. Dráha bude postavená paralelne na dráhu 06/24 vo vzdialenosti 1525 metrov, čím bude možné zaručiť kontinuálnu prevádzku na oboch dráhach súčasne a za akýchkoľvek poveternostných podmienok. Prevádzka dráhy 12/30 bude ukončená a táto dráha bude začlenená do systému pojazdových dráh.

Radionavigačné zariadenia na tejto dráhe sú navrhnuté tak, aby umožňovali priblíženie a pristátie takmer za každého počasia. Preto bude táto dráha vybavená ILS kategórie III.B a to v oboch smeroch priletu. [1]

Táto úprava prinesie významný benefit pre obyvateľov Prahy a Kladna v podobe zrušenia prevádzky nad touto hustou obývanou oblasťou. Ako príklad tohto problému uvádzam STAR (Standard terminal arrival route) a mapu na dráhu 30/12. (obrázok č.1). Rovnaký problém predstavujú SID (standard instrument departure) pre dráhu 30/12. [2]



Obrázok č.2- Približovacia mapa dráhy 12/30 vedúca cez mesto Praha [2]



4. Analýza súčasných možností letovej simulácie

4.1. Dostupné systémové riešenia

V súčasnosti sa vyskytuje na trhu široké spektrum dostupného softwaru, ktorý je využiteľný pri tvorbe modelu, respektíve jeho využití v reálnom svete vo viacerých kategóriách letových simulátorov s rôznou mierou praktickosti, vernosti, presnosti a ďalšími rôznymi faktormi.

4.1.1. Microsoft Flight Simulator 2020

Prvým zo zvažovaných softwarových riešení je najnovší Microsoft Flight Simulator 2020, ktorý nahradil zastaralý Microsoft Flight simulator X. Tento letecký simulátor dokáže verne simulovať či už aerodynamické vlastnosti viacerých typov lietadiel alebo prostredie v ktorom sa nachádzame. V roku 2020 vyšla najnovšia časť tohto simulátora na PC, ktorá so sebou priniesla viacero zlepšení či už v oblasti grafiky, vylepšenej fyziky letu a hlavne obsahu veľkého množstvo detailne vymodelovaného terénu. Tím, ktorý stál za vyvinutím tohto softwaru spolupracoval so spoločnosťou Google a pri modelovaní tohto 3D virtuálneho sveta boli využité satelitné snímky z Google Earth. Na obrázku č.3 je vyobrazené Letisko Václava Havla v Prahe. Nevýhodou



Obrázok č.3- Ukážka Letiska Václava Havla v Microsoft Flight Simulátore 2020

[20]



tohto software-u je jeho obmedzená editovateľnosť a momentálne neexistujúca certifikácia. Prostredie tohto simulátora je možné editovať SDK softwarom, ktorý bol pre širokú verejnosť uvedený do prevádzky 1.3.2021. Jedná sa teda o relatívne nový editor. Z toho vyplývajú problémy s kompatibilitou, hlavne pri rozsiahlych modeláciách letísk, dochádza ku rôznym posunom a nepresnostiam. Tento software kvôli tomuto faktu nedokáže fungovať s dostatočnou presnosťou a vernosťou pre túto prácu. [3]

4.1.2. Xplane 11

Ďalším z možných softwarov, využiteľných pre tento účel je prostredie Xplane 11. Tento simulátor bol prvýkrát predstavený v roku 1995 a koncom roku 2016 došlo ku vydaniu doposiaľ poslednej verzie tohto softwaru.

Najväčšou výhodou je editovateľnosť tohto softwaru, či už sa jedná o vývoj a vkladanie nových modelov lietadiel alebo o tvorbu novej scenérie. Tvorba scenérie je možná v prostredí World Editoru, ktorý bol priamo vyvinutý firmou Laminar Research, ktorá je takisto zodpovedná za vydanie tohto softwaru. Ďalšou veľkou výhodou je fakt, že software Xplane 11 je možné zakúpiť s certifikáciou FAA-ATD, čím je možné tento software používať v certifikovaných FNTP simulátoroch. V neposlednom rade je nespornou výhodou využitie tohto softwaru vo VR simulátore na Fakulte dopravní ČVUT, čím je možné ďalej pokračovať na vykonávaní ďalších experimentov v prostredí tohto modelu v rámci akademickej pôdy ďalšími žiakmi Fakulty dopravní.

Nevýhodou tohto systému je zrušenie možnosti editácie rádio navigačných prostriedkov. Momentálne avšak prebieha snaha o odstránenie tohto problému softwarovým developerom. [4,12]

4.1.3. Prepar3D

Tento software bol pôvodne vyvinutý firmou Lockheed Martin v roku 2007 a to špeciálne pre výcvikové účely, čo je veľká výhoda tohto systému. Jeho stavebná filozofia je avšak postavená na pomerne zastaralej databáze software-u Microsoft Flight Simulator X.



Vďaka faktu, že bol tento software vyvinutý hlavne pre tréningové účely, takisto disponuje potrebnými certifikátmi pre využívanie v FNTP simulátoroch.

Z hľadiska editácie je tento software vybavený širokou škálou možností, ktorá zahŕňa aj rádio navigačné prostriedky. Vyplýva to hlavne z využívania databázy relatívne starého software-u FSX. Tento software je avšak notoricky náročné upravovať a to hlavne kvôli problémom s optimalizáciou, nedostatkom textúr a potrebe ich prvotnej modelácie. Tieto problémy nie sú natoľko zrejmé pri modelácii jednoduchého letiska, avšak pri snahe o vymodelovanie tak zložitého letiska ako je letisko Václava Havla v Prahe môže dochádzať ku nepresnostiam vo vernosti modelu či problémom s kompatibilitou. [5]

4.2. Dostupné fyzické simulátory

4.2.1. Domáci herný simulátor

Po zakúpení domáceho príslušenstva, ovládania plynov, kniplu, pedálov a spárovaním s vhodnou sadou VR okuliarí je možné si v pohodlí domova vytvoriť domáci simulátor. Tento typ simulátorov je dostupný pre širokú verejnosť. Na type simulátora je možné precvičovať letové procedúry, trénovať prevádzkové postupy rôznych typov lietadiel a mnoho ďalšieho. Výber softwarového riešenia je na používateľovi a hardwarovým možnosťach jeho počítača. Databáza ich prostredia nepodlieha žiadnej certifikácii, je tým pádom možná editácia. Pri spárovaní vhodných pomôcok s vhodným softwarovým riešením je možné dosiahnuť presnosť FNPT simulátoru, avšak bez náležitej certifikácie, ktorou FNPT simulátor disponuje. [6]

4.2.2. FNPT simulátor

V leteckej praxi, pri výcviku IFR postupov, zero flight time trainingu či príprave na type rating, sa využívajú statické simulátory ktoré ale sú vernými replikami kokpitov rôznych lietadiel. Príkladom je napríklad simulátor FDS-B737NG-FBPT od firmy Flightdeck solutions.

Tieto simulátory využívajú certifikovanú databázu pri tvorbe prostredia, avšak pre tento typ simulátorov nie je podstatná grafická vernosť a presnosť



prostredia ale navigačná presnosť. Tieto simulátory majú ešte vernejší fyzikálny model pohybu lietadla, pretože je špecifikovaný na daný typ lietadla a v ich ovládacích prvkoch už sú nasimulované sily. Tento typ simulátora sa využíva hlavne kvôli jeho vierohodnosti a nízkym prevádzkovým nákladom. Ako už bolo vyššie spomínané, databáza prostredia podlieha certifikácii, preto nie je možná jeho editácia. [7]

4.2.3. Pohyblivé simulátory

Tie najdrahšie ale aj najvernejšie simulátory sú samozrejme tie certifikované, plne pohyblivé simulátory, ktoré okrem všetkého čo dokáže statický simulátor dokážu simulovať aj pohyb lietadla v reálnom svete. Dokážu pilotovi navodiť do určitej miery rôzne preťaženia, zatáčky, nárazy a turbulencie. Tieto simulátory sa využívajú na typové zaradenia a preskúšania.

Profesionálne simulátory používajú vždy certifikovaný software, napríklad od firmy ECA Group. Táto spoločnosť spolupracuje s firmami ako Boeing a Airbus pri vývoji svojich simulátorov a má v tomto ohľade veľké celosvetové uznanie. ECA Group pracuje nie len s civilnými ale aj vojenskými kontraktmi. Databáza prostredia takisto podlieha certifikácii, preto nie je možná jeho editácia. [8]

4.3. Súčasná možnosti VR technológie

Pred niekoľkými rokmi prišli na trh takzvané 3D okuliare, ktoré je možné pripojiť s PC alebo konzolou a scenéria sa jednoduchou projekciou do týchto okuliarí premietne, spolu s akcelerometrami ktoré pohybujú priestorom na princípe kurzoru, dokážu vyvolať ilúziu virtuálnej reality, ktorá do určitej miery dokáže navodzovať pocity pohybu aj keď sa testovací subjekt reálne v priestore nepohybuje.

V súčasnosti na Fakulte Dopravní ČVUT existuje VR simulátor, ktorý funguje v prostredí Xplane 11 čo umožňuje ho v budúcnosti využiť na navrhované experimenty (viď kapitola Návrh experimentov). VR okuliare, ktorými disponuje tento simulátor disponujú možnosťou sledovania očí. Vďaka



tejto funkcii je možné zbierať dáta, ktoré je možné vyhodnocovať a sledovať úroveň pozornosti a merať tak údaje pracovného zaťaženia a stresu. [9,10]

4.4. Zhrnutie

V prípade modelovania bolo z hore uvedených dôvodov rozhodnuté využívať prostredie Xplane 11 a ich World Editor, ostatné software-y bohužiaľ neponúkajú dostatočné rozhranie editovateľnosti v ktorom by bolo možné model paralelnej dráhy vymodelovať alebo podliehajú certifikácii. (Tabuľka č.1)

V neposlednom rade je nepopierateľnou výhodou tohto softwaru jeho využiteľnosť v spojení s VR technológiou na Fakulte Dopravní ČVUT pre ďalšie experimenty.

	<i>Microsoft Flight Simulator 2020</i>	<i>X-Plane 11</i>	<i>Prepar 3D</i>
<i>Dostačujúca vernosť prostredia</i>	Áno	Áno	Nie
<i>Presné editácia podkladu</i>	Nie	Áno	Áno
<i>Modelácia rádionavigačných prostriedkov</i>	Nie	Nie	Áno
<i>Certifikácia pre použitie v certifikovaných simulátoroch</i>	Nie	Áno	Áno
<i>Možnosti využitia</i>	Domáci simulátor	FNTP+VR simulátor na FD	FNTP simulátor

Tabuľka č.1- Porovnanie parametrov leteckých simulátorov [autor]



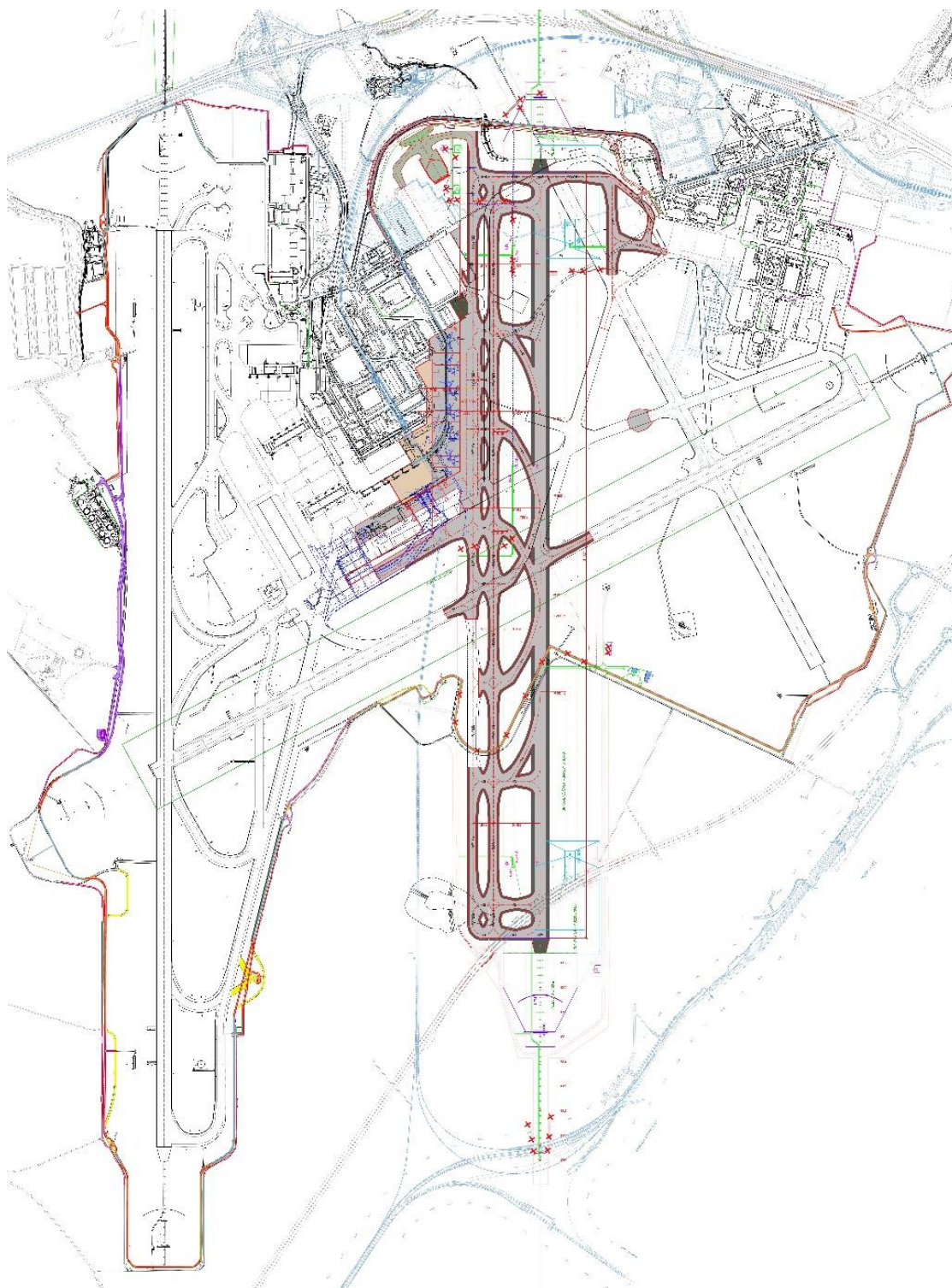
5. Postup práce pri modelovaní v prostredí World Editoru

V tejto kapitole bude presne opísaný postup práce vo World editorovi. Počínajúc od analýzy projektu paralelnej dráhy, vypracovania modelovacích podkladov, samotných krokov modelácie až po špecifikáciu limitácií modelu.

5.1. Vstupné požiadavky a podklady

Prvým krokom pri začatí modelovania bola analýza projektu paralelnej dráhy. Projekt paralelnej dráhy je samozrejme veľmi komplexný projekt, z ktorého bolo potrebné vybrať relevantné informácie, potrebné pre modelovanie. Na obrázku č.4 je vidieť celý, neprefiltrovaný projekt. Na tejto prílohe sa nachádza celkový popis projektu, ktorý zahŕňa momentálny stav, potrebné zmeny už v existujúcom pojazdovom systéme, zmeny dopravnej infraštruktúry, geologické úpravy, dostavbu terminálov, svetelnú sústavu prístávacej plochy, celkové oplotenie letiska (SRA zóny) a jeho zmeny a mnohé ďalšie.

Samozrejmosťou je existencia kót každého aspektu dráhy, vďaka čomu je možné dodržať dostatočnú presnosť modelu. Komplexnosť tohto projektu avšak so sebou prináša množstvo problémov, s ktorými bolo potrebné počítať pri modelácii. Ide napríklad o oddelenie podkladu, ktorý reprezentuje súčasný stav od plánovaných zmien, rozlíšenie rôznych využitých povrchov, presnú identifikáciu využitých typov osvetlenia a pojazdového značenia a mnohé ďalšie aspekty, ktoré boli zahrnuté pri modelácii. Tieto problémy boli riešené v nasledujúcej kapitole.



Obrázok č.4- Projekt paralelnej dráhy na Letisku Václava Havla Praha
[Letiště Václava Havla Praha]



5.2. Výber konkrétnych častí pre účely modelácie z projektu paralelnej dráhy na letisku Václava Havla v Prahe

Pri výbere relevantných informácií bolo v prvom rade potrebné odfiltrovať pozadie, ktoré symbolizuje súčasný stav dráhového systému. Toto pozadie bolo nežiadúce pre potreby modelácie. Ďalším krokom bolo odfiltrovanie existujúcich pozemných komunikácií, plotov a iných súčasných objektov zasahujúcich do prostredia dráhy. Posledným krokom pri výbere relevantných častí bolo odfiltrovanie rôznych poznámok, pomocných čiar, popisných obrázkov, odvodňovacích kanálov a zobrazenie reliéfu terénu (potreba vyplnenia dutiny v štádiu výstavby). Všetky tieto aspekty terénu nie je možné a ani potrebné modelovať v prostredí World Editoru.

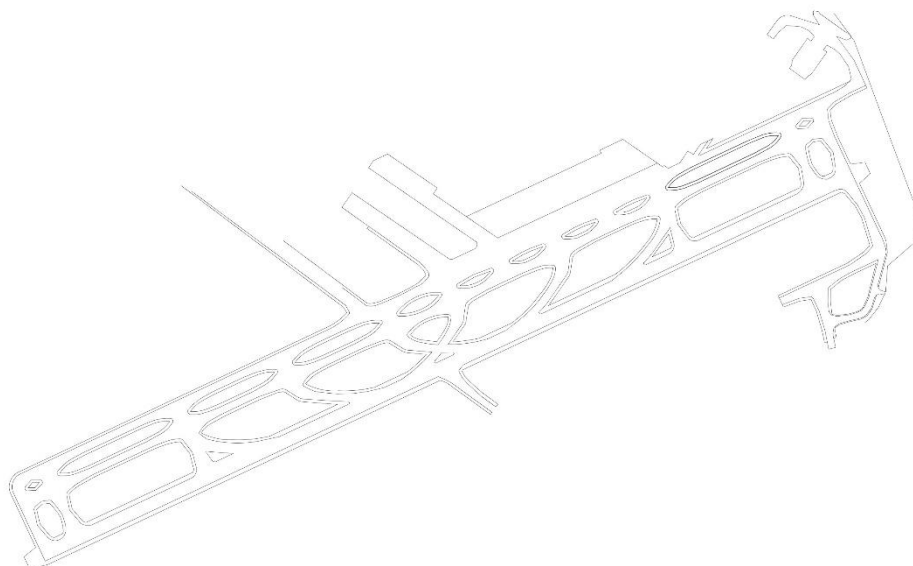
Naopak pre účely modelácie boli zachované stavebné hranice dráhy, pojazdových dráh a ich rozdelenie podľa stavebného materiálu a prilahlé cestné komunikácie, ktoré podliehajú zmene projektu (napríklad súčasná cesta „K Letišti“). Takisto bol zachovaný podklad siete pojazdového značenia a osvetlenia s ktorým bolo spojená identifikácia konkrétnych využitých typov osvetlenia a pojazdového značenia. V neposlednom rade bolo zachované plánované oplotenie, ktoré bude tvoriť ochrannú zónu a plánované zväčšenie Terminálu 2.

5.3. Vytvorenie podkladov pre účely modelácie

Najpodstatnejším krokom pred samotnou modeláciou bolo vymodelovanie vyfiltrovaných častí v prostredí ArchiCADu, jedná sa o certifikovaný architektonický program. Tento krok bol nutný kvôli stavebnej filozofii Xplane 11 World Editoru. Program World Editor totiž nepracuje na stavebnom princípe kót, čo v praxi znamená že v tomto programe neexistuje možnosť zmerať vzdialenosti bodov, nastaviť dĺžku pojazdových dráh či samotnej dráhy. Preto by bolo takmer nemožné zachovať vernosť a hlavne presnosť tohto modelu. Tento problém je vyriešený použitím architektonického programu, kde boli vymodelované zjednodušené 2D podklady využitím množstva kót, ktoré sa nachádzali v pôvodnom projekte. Ako príklad je uvedený



podklad pojazdových dráh, paralelnej dráhy a príľahlých cestných komunikácií.
(Obrázok č.5) Ďalšie podklady zahŕňali sieť pojazdových značení a osvetlenia.



Obrázok č.5- Podklad pojazdových dráh pre účely modelácie vytvorený v ArchiCADe [autor]

Po prekreslení a vybratí relevantných informácií a hlavne exportu v správnom formáte, ktorý dokáže World Editor zobrazovať, bola možná práca v samotnom World Editore. [11]



5.4. Postup práce v prostředí World Editoru s vizuální reprezentáciou výsledkov

Prvým krokom samotnej modelácie bolo rozdelenie pojazdových dráh na dve časti a to časť základovú (štrkovo-cementovú) a druhú asfalto-betónovú respektíve cementovo-betónovú, ktorá bude tvoriť kryt pojazdovej dráhy. Druhým krokom bolo začatie modelácie základovej vrstvy pojazdovej dráhy a vloženie samotnej dráhy 06R/24L. (obrázok č.6)



Obrázok č.6- Základová štrkovo-cementová vrstva pojazdových dráh [autor]

Na obrázku č.6 a č.7 je možné detailne vidieť rozdelenie povrchov na základnú vrstvu (č.6) a kryt pojazdovej dráhy (č.7). Stavebné parametre dráhy je možné prednastaviť už v samotnom editore, preto sa dráha javí ako jednotný celok aj keď je rozdelená na hlavnú časť a postranné pásy, ktoré sú tvorené z rozdielnych materiálov (obrázok č.16).



Obrázok č.7- Asfalto-betónový kryt pojazdovej dráhy [autor]

Na obrázku č.8 je možné vidieť pokračovanie pojazdových dráh. Do pozornosti je avšak potrebné uviesť zmeny na odbavovacej ploche juh, ktorá sa nachádza v blízkosti terminálu 3 a 4.

Na projekte paralelnej dráhy dodaným pracovníkmi Letiska Václava Havla v Prahe nie sú bohužiaľ zakomponované momentálne prebiehajúce stavebné úpravy na odbavovacej ploche Juh. Predpokladom tohto rozdielu je vypracovanie projektu ešte pred vytvorením projektu úpravy tejto odbavovacej plochy. Z dôvodu zachovania presnosti v súlade s dodaným projektom nie sú zakomponované ani v tomto modeli, po doložení potrebných dokumentov je avšak možné túto časť doplniť o reálny stav.

Pracovníkmi Letiska Václava Havla boli ďalej avizované zmeny v tomto projekte následkom optimalizácie siete pojazdových dráh. Bude sa jednať najmä o zmeny pojazdového značenia a označenia pojazdových dráh. Tieto zmeny je takisto možné zapracovať do tohto modelu neskoršou aktualizáciou.



Obrázok č.8- Pokračovanie siete vozňových dráh [autor]



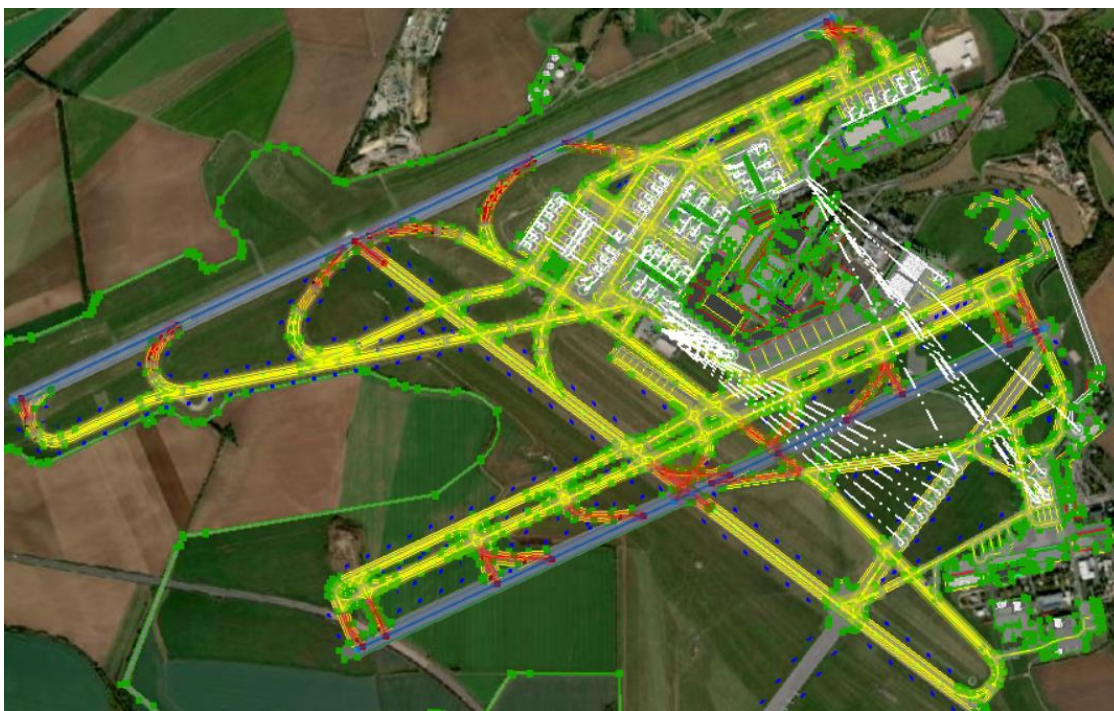
Obrázok č.9- Sieť podvozového svetelného značenia [autor]



Ďalším pokračovaním bolo vybudovanie siete pojazdových značení a osvetlenia. Tento krok zahŕňal zmenu dráhy 12/30 na pojazdovú dráhu K6. (obrázok č.9)

Aby bol model dráhy využiteľný naplno, spolu s umelou inteligenciou hry Xplane 11, jedná sa konkrétne o AI ATC, AI lietadla, pozemný handling a mnohé ďalšie, museli byť pridané do modelu takzvané taxi routes. Jedná sa o trasy po ktorých AI ATC posieľa lietadlá po prilete a pri odlete. Editor má možnosť rozlišovania žltých pojazdových trás, červených hot spotov, miest kde sa pojazdové dráhy križujú alebo stretávajú s odletovou respektíve pristávacou dráhou, a modré pristávacie a odletové dráhy, modrá farba špecifikuje využívanie ILS CAT IIIB, čo je takisto možné nastaviť v Editore. (obrázok č.10)

Pre správne fungovanie Xplane AI, bolo pri nastavovaní využité špecifikovanie dráh a to dráhu 06L/24R ako dráhu pristávaciu a dráhu 06R/24L (novú paralelnú) ako dráhu odletovú. Bolo to z dôvodu, aby pilota AI ATC naviedol na pristátie na jednu dráhu a pri odlete využil druhú dráhu, tak ako je to pre dráhy aj v realite plánované.



Obrázok č.10- Sieť taxi routes [autor]

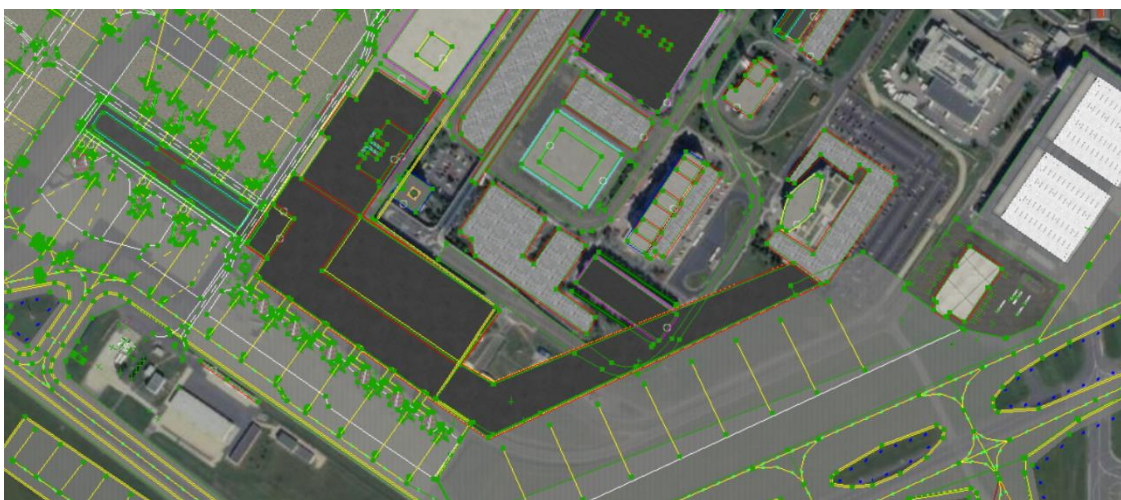
V súčasnosti nevyužívaná dráha 04/22 nie je zakreslená v sieti taxi routes z toho dôvodu že je využívaná na parkovanie lietadiel. (obrázok č.10)

Predposledným krokom pri modelovaní bolo pridanie ochrannej zóny (exclusion zone) podľa zadaného projektu. (obrázok č.11)



Obrázok č.11- Ochranná zóna [autor]

Završením modelovania bolo vymodelovanie zväčšenia terminálu 2, respektíve plánovaného nového terminálu. (obrázok č.12)



Obrázok č.12- Zväčšenie terminálu 2 [autor]



5.5. Limitácie

Modelácia sa bohužiaľ nezaobišla bez svojich problémov. Najväčšou existujúcou limitáciou je fakt, že developeri Xplane 11 pri návrhu tejto verzie odobrali možnosť editácie rádio navigačných prostriedkov v súbore earth_nav.log. V tomto súbore bolo v minulej verzii World Editor, respektíve softwaru Xplane 10 možné editovať prostriedky ako NDB, VOR, či pre modeláciu tejto scenérie najpodstatnejší systém ILS. (obrázok č.13)



Obrázok č.13- Mapa rádio navigačných prostriedkov [autor]

K tomuto faktu došlo z dôvodu častých chýb pri načítaní príletových procedúr STAR či odletových procedúr SID následkom zásahov neoprávnenými a častokrát neskúsenými editormi. Bohužiaľ táto možnosť doposiaľ nebola pridaná do najnovšej verzie World Editoru ani Xplane 11. Pri riešení tohto problému boli kontaktovaní samotní tvorcovia Xplane 11, ktorí iba potvrdili tento fakt a nenavrholi žiadne možné riešenie.

Pri ďalšej snahe riešenia bol kontaktovaný softwarový developer, ktorý rádio navigačný systém ILS presunul, avšak nedokázal zabrániť chybám systému pri načítaní. Najväčším spúšťačom chýb bola snaha premenovania systému ILS 12/30 na ILS dráhy 06R/24L, respektíve pri snahe o zdvojenie



týchto systémov. Pri presnutí pilota na príletovú trať sa systém začína zasekávať a následne nahlásil chybu systému.

Jedná sa pravdepodobne o problém s optimalizáciou, na ktorom softwarový developer naďalej pracuje a je počítané s aktualizáciou stávajúcej verzie tohto modelu, ktorý už bude zahŕňať aj systém ILS. Vzhľadom na tento fakt bolo prístupné ku dočasnému vynechaniu tohto systému. [12]

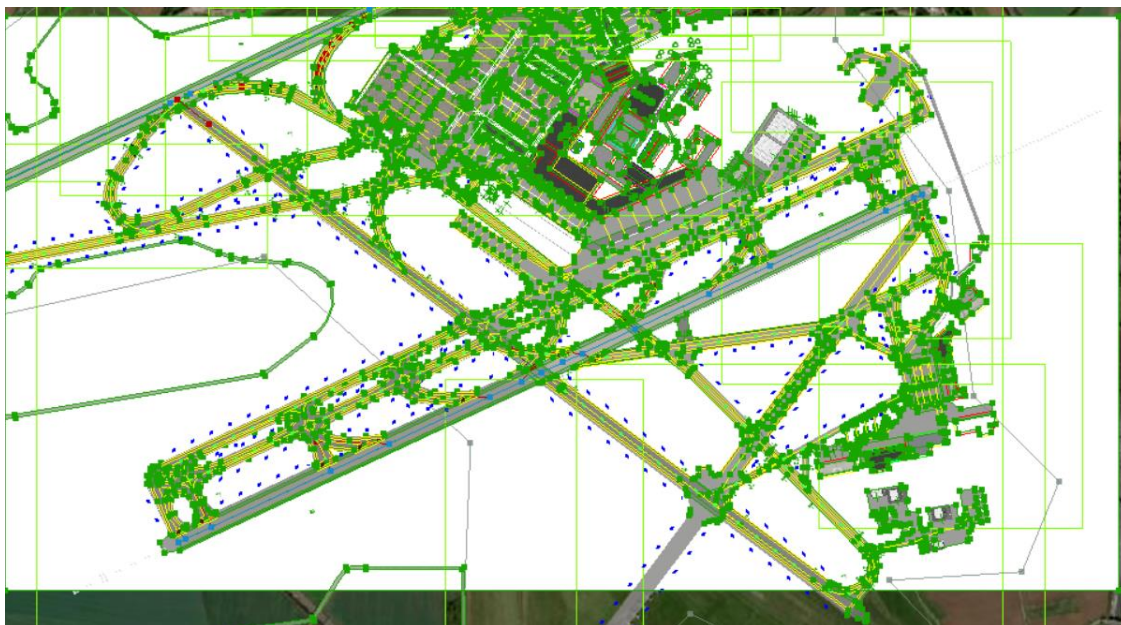
Poslednou, nie natoľko podstatnou limitáciou vernosti a presnosti tohto modelu je zanedbanie sklonu novej paralelnej dráhy. Presný sklon dráhy totiž nie je zahrnutý v projekte paralelnej dráhy a pre účely tohto modelu je táto limitácia zanedbateľná.

6. Overenie vernosti a funkčnosti modelu paralelnej dráhy

Pre vykonanie navrhovaných experimentov bude potrebné overiť presnosť a vernosť vymodelovaného modelu a to porovnaním s vypracovaným podkladom a overením funkčnosti celého modelu verifikačnými experimentami v samotnom simulátore.

6.1. Overenie vernosti

Overenie vernosti modelu prebehlo najmä vizuálnym porovnaním s projektom paralelnej dráhy dodaným Letiskom Václava Havla Praha. Keďže bolo pri modelácii dráhy využité certifikovaného architektonického programu ArchiCAD 23, bolo možné vygenerovať dostatočne presné výkresy pre účely experimentov, rozdelené do niekoľkých úsekov. Podľa týchto výkresov prebiehala modelácia. Vzhľadom na tieto predpripravené podklady, sú rozmery modelu letiska vymodelované v prostredí World Editoru v súlade s dodaným projektom pracovníkmi letiska. (obrázok č.14)



Obrázok č.14- Porovnanie podkladu s vypracovaným modelom [autor]

6.2. Overenie funkčnosti

Overenie funkčnosti prebehlo za pomoci načítania upravenej scenérie (Custom Scenery) v prostredí samotného Xplane 11. Pilot bol simulátorom premiestnený na začiatok STAR kde ho letiskové AI ATC úspešne naviedlo na priblíženie dráhy 24L (obrázok č.15) a nechalo rolovať po pojazdovej dráhe L, ktorá je zahrnutá v sérii nových pojazdových dráh. Po tomto rolovaní bolo lietadlo zaparkované na parkovacích miestach na bývalej dráhe 04/22.

Pri druhom teste bola použitá druhá dráha 24L na rolovanie po nových pojazdových dráhach a následný odlet. Pilot bol prenesený na parkovacie miesto pred terminálom 1 kde ho AI ATC nainštruovalo na rolovanie po dráhach G, L, M2, K14, a zastaviť sa pred vstupom na dráhu 06R/24L. Následne AI ATC povolilo vstup na dráhu 24L a povolilo odlet. Testovaným lietadlom bola Cessna 172 G1000. Obidva testy dopadli úspešne bez hlásení chýb systému či chýb scenérie, je ale vhodné dodať že sa jednalo o vizuálne priblíženia s využitím PAPI svetiel kvôli odkladu vloženia systému ILS pre dráhu 06R/24L (bližšie špecifikované v podkapitole 5.5 Limitácie). (obrázky č.16,17)



Obrázok č.15- Priblíženie na dráhu 24L [autor]

Následne boli obidva testy vykonané aj pre existujúcu hlavnú dráhu 06L/24R kvôli kontrole funkčnosti systému. Lietadlo bolo premiestnené na príletovú trasu pre dráhu 06L kde bolo úspešne vykonané prístrojové priblíženie systému ILS. Po pristátí bolo lietadlo opäť zaparkované na parkovacom státi na bývalej dráhe 04/22.

Posledným experimentom bolo znovu naštartovanie lietadla na rovnakom parkovacom mieste na dráhe 04/22 a následné rolovanie až na odlet z dráhy 24R. Obidva testy opäť dopadli úspešne bez hlásenia chýb simulátorom či problémom s načítaním scenérie.



Obrázok č.16- Rolovanie po pojazdovej dráhe [autor]



Obrázok č.17- Odlet z dráhy 24L [autor]



7. Navrhnutie experimentov v leteckom simulátore s využitím nového modelu paralelnej dráhy

V prvom rade je podstatné priblížiť teoretické poznatky ku fungovaniu paralelných dráh, keďže existuje niekoľko možností využívania týchto dráh. Nasleduje teoretické zasvätenie do orientácie na pojazdových dráhach či v noci alebo cez deň. Tento teoretický základ je vhodné poznať vzhľadom na navrhované experimenty v leteckom simulátore.

7.1. Všeobecné základné bezpečnostné aspekty pri používaní paralelnej dráhy

Hlavným cieľom pri používaní paralelných dráh je už niekoľkokrát spomínané navýšenie kapacity. Za najväčším navýšením kapacity častokrát stojí používanie nezávislých priblížení na dve rozdielne paralelné dráhy a to simultánne.

Bezpečnosť pri používaní paralelných dráh v kontrolovanom priestore je ovplyvnená niekoľkými faktormi. Používaním moderných radarových zariadení, efektivita procesu práce ATC, komunikácia s lietadlami pri odchylení zo stanoveného ILS lokalizátoru dráhy alebo RNAV kurzu a presnosťou, s ktorou dokážu posádky jednotlivých lietadiel dané procedúry zaletieť. Ďalšími možnými bezpečnostnými problémami je orientácia a systém pojazdových dráh a terminálov. Bezpečnostné problémy nastávajú hlavne ak sú lietadlá nútené prechádzať cez aktívnu dráhu, či už odletovú alebo príletovú. Túto činnosť nazývame ako identifikáciu hot spotov (bod č.4 v tejto kapitole).

Relatívne veľká vzdialenosť medzi paralelnými dráhami na Letisku Václava Havla Praha rieši ale hneď niekoľko bezpečnostných problémov, ktoré by boli omnoho podstatnejšie, ak by tieto dráhy boli bližšie pri sebe. Ide napríklad o obmedzenia z hľadiska počasia, technických problémov so systémom ILS, zhustená alebo naopak rozdelená komunikácia (napríklad pri používaní dvoch frekvencií TWR), dodatočný tréning pilotov a dispečerov, technické obmedzenia systému ACAS (TA a RA vo fáze priblíženia) a mnohé ďalšie. [13,14]



7.2. Všeobecné prevádzkové režimy používania paralelných dráh

V tejto kapitole budú priblížené prevádzkové režimy paralelných dráh a ich možné rozdelenie na niekoľko typov. Tieto prevádzkové režimy sú závislé od polohy letiska, vzdialenosti paralelných dráh a aj množstva letovej prevádzky, respektíve počtu pohybov. Tieto režimy je možné striedať a letovú prevádzku následne optimalizovať.

1. Nezávislé paralelné priblíženia

Súčasné priblíženia na paralelné alebo takmer paralelné prístrojové dráhy, kde nie sú predpísané minimálne radarové rozostupy medzi lietadlami na susedných predĺžených osách dráh.

2. Závislé paralelné priblíženia

Súčasné priblíženia na paralelné alebo takmer paralelné prístrojové dráhy, kde sú predpísané minimálne radarové rozostupy medzi lietadlami na susedných predĺžených osách dráh pri používaní priblíženia ILS.

3. Nezávislé paralelné odlety

Súčasné paralelné odlety na paralelných alebo takmer paralelných prístrojových dráhach.

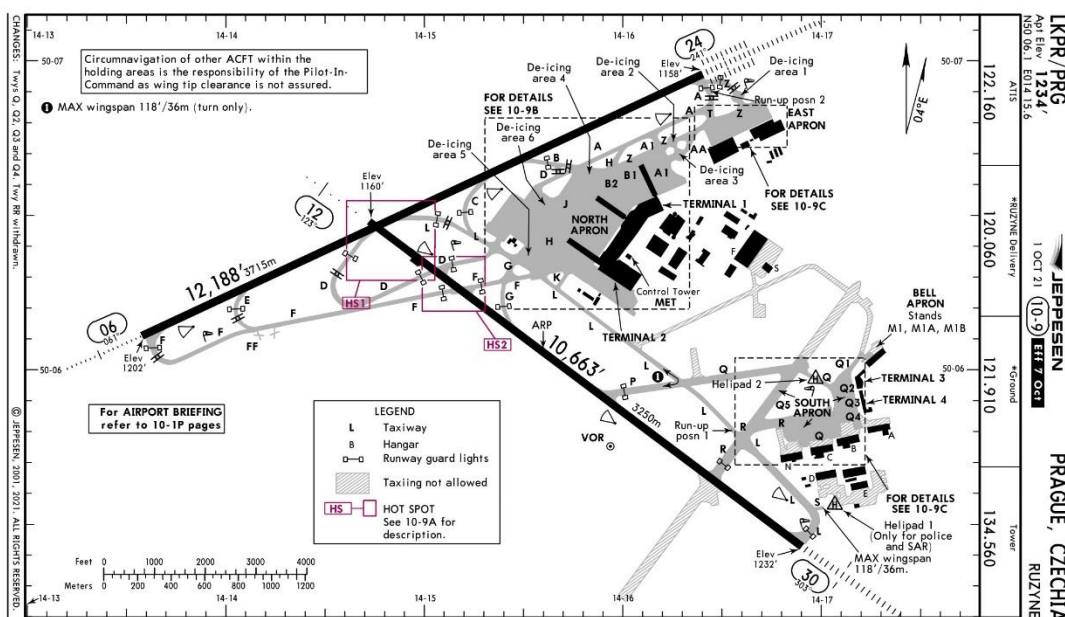
4. Oddelená paralelná prevádzka

Súčasná prevádzka na paralelných alebo takmer paralelných prístrojových dráhach, pričom je jedna dráha využívaná výhradne na prílety a druhá výhradne na odlety. [13,14]



7.3. Orientácia na pojazdovom systéme

Piloti pre orientáciu na pojazdovom systéme využívajú viacero spôsobov. Najzakladanejšou pomôckou je letisková mapa, pomocou ktorej si dokážu piloti zlepšiť svoje situačné povedomie a hlavne dokážu dopredu plánovať a očakávať po ktorých pojazdových dráhach budú rolovať. Ako príklad je uvedená mapa súčasného pojazdového systému na Letisku Václava Havla. (obrázok č.18)



Obrázok č.18- Mapa súčasného pojazdového systému na Letisku Václava Havla

Pri rolovaní po pojazdových dráhach ďalej využívajú ďalšie optické pomôcky, ktoré im pomáhajú s priestorovou orientáciou a to nie len cez deň ale najmä v noci.

7.3.1. Deň

Orientácia na pojazdových dráhach cez deň je riešená hlavne používaním pojazdového značenia, nápisov a pojazdových tabúľ. ATC na monitorovanie pohybu lietadiel používa ďalekohľad, pozemný radar a palubný odpovedač. [14]



7.3.2. Noc

V noci je orientácia na pojazdoých dráhach sťažená, nakoľko pojazdové dráhy zväčša nie sú osvetlené bielym nasvecovacím svetlom. Preto je používaná sieť pojazdového osvetlenia, stredová čiara je osvetlená zelenými, zapustenými, všesmerovými svetlami, na okrajoch dráhy sú použité modré, samostatne stojace, všesmerové svetlá. Pri osvetlení holding pointov sú použité zapustené, smerové, oranžové alebo červené svetlá, napríklad v prípade STOP priečky. Pojazdové tabule sú takisto osvetlené. ATC pre svoju orientáciu používa rovnaké prostriedky ako pri práci cez deň. (obrázok č.19) [14,19]



Obrázok č.19- Rolovanie po pojazdovej dráhe v noci [autor]

7.3.3. Poveternostné podmienky

Pri zníženej dohľadnosti je orientácia pilotov a ATC značne obmedzená, preto sa pri postupoch využívajú väčšie rozostupy medzi lietadlami či vzdialenejšie body hold short. Rýchlosť rolovania lietadiel je takisto znížená a piloti lietadiel musia byť ešte viac obozretní kvôli zväčšeniu náporu na prácu riadiaceho, čím môže dôjsť ku chybám.

Tieto chyby musia byť vzájomne identifikované medzi pilotmi a riadiacim letovej prevádzky. V histórii je viacero momentov, ktoré zapríčinili značné škody



či veľké straty na živote, ktorým mohlo byť zabránené včasným zásahom pilotov alebo riadiacich letovej prevádzky práve za LVO. Najznámejším príkladom nehody spôsobeným práve týmto príkladom je zrážka dvoch lietadiel B747 na letisku Tenerife Sever. [14,15]

7.4. Hot spoty

Hot spot je definované miesto na systéme pojazdovej dráhy s históriou alebo potencionálnym rizikom zrážky či nepovolených vjazdov na odletovú alebo pristávaciu dráhu. Na týchto miestach je od pilotov a aj zamestnancov letiska vyžadované zvýšenie pozornosti.

V projekte paralelnej dráhy sa jedná hlavne o miesta so zvýšenou koncentráciou pohybov lietadiel, križeniu pojazdovej dráhy s aktívnou dráhou či riziko nesprávneho odbočenia na zlú pojazdovú dráhu. [16]

Príkladom je pojazdová dráha M2, na mieste spojenia s novým terminálom, na tomto mieste je možná strata priestorovej orientácie a následné problémy s rolovaním. Tieto hot spoty budú zakreslené v pojazdovej mape letiska.

7.5. Návrh experimentov

V nasledujúcej kapitole sa nachádzajú navrhované experimenty s popisom, nastavením simulátora, popis testovaného subjektu, samotné prevedenie experimentu a popis očakávaných výsledkov.

Ako bolo už v úvode spomínané, tieto experimenty je vhodné vykonať nie len ešte pred samotnou výstavbou paralelnej dráhy ale aj po spustení prevádzky na paralelnej dráhe. Vykonaním týchto experimentov v letovom simulátore je totiž možné včas identifikovať problémové miesta projektu a navrhnúť vhodné úpravy, respektíve optimalizáciu zaužívaných postupov v reálnej prevádzke po výstavbe tejto dráhy.



Experiment č.1

Pre návrh tohto experimentu boli využité referenčné dokumenty. Prvý dokument pojednáva o optimálnom dizajne letísk a druhý dokument o kapacitnej analýze. Tieto dokumenty boli Autorom naštudované a následkom bolo vyvodenie tohto experimentu. [19,21]

Simulácia prvého letu pilota na novú, paralelnú dráhu na letisku Václava Havla v Prahe za VMC a aj za zhoršených poveternostných podmienok. Cieľom tohto experimentu je zvýšenie situačného povedomia pilotov, zlepšenie efektivity práce ATC či identifikácia neočakávaných hot spotov v systéme pojazdvových dráh.

Pri tomto experimente bude využitý subjekt pilota, môže sa napríklad jednať o študenta FD ČVUT. Tento experiment bude prebiehať na VR simulátore takisto na FD ČVUT.

Pri experimente bude pilot nainštruovaný pristáť na novú paralelnú dráhu za VMC cez deň. Následne mu bude predaná informácia, po ktorých nových pojazdvových dráhach má rolovať. Trasa, po ktorej bude tento pilot rolovať, je stanovená na základe analýzy projektu a nájdením potencionálnych hot spotov v pojazdvovom systéme dráhy.

Ako bolo pracovníkmi letiska Václava Havla dopredu avizované, jedná sa napríklad o pojazdvovú dráhu M2 na mieste spojenia s novým terminálom. Na tomto mieste je totiž možná strata priestorovej orientácie a následné problémy s rolovaním.

Ďalšie možné problémové miesto, avizované pracovníkmi letiska, môže vzniknúť po pristátí lietadla na súčasnú hlavnú dráhu 06L/24R, pričom bude chcieť toto lietadlo parkovať pri súčasnom termináli 3. Pri následnom rolovaní totiž nastáva situácia, kedy bude lietadlo križovať dráhu v používaní, ktorá bude využívaná napríklad na odlety, čo je nežiadúce a potencionálne nebezpečné, nakoľko môže dôjsť ku nepovolenému vstupu na dráhu.



Pri rolovaní lietadla po pojazdových dráhach bude monitorovaný pohyb očí pilota, pričom prebehne identifikácia vizuálnych pomôcok, ktoré tento pilot pri rolovaní využíva na svoju priestorovú orientáciu. Takisto prebehne identifikácia, respektíve potvrdenie analýzy výskytu hot spotov. Tento experiment je možné zopakovať pri nastavení simulátora na použitie v noci a takisto za LVO.

Výsledkom tohto experimentu je dosiahnutie lepšieho rozmiestnenia, veľkosti či pridanie ďalších vizuálnych pomôcok a to hlavne na problémových miestach. Ďalšími benefitmi je identifikácia hot spotov, ktoré budú zakreslené do pojazdovej mapy letiska, optimalizácia komunikácie s ATC a s tým spojené nájdenie správnych hraníc povolenia.

Príkladom tohto experimentu v praxi je napríklad nastavenie hranice povolenia po pristátí lietadla na v súčasnosti hlavnú dráhu 06/24. Po pristátí je pilot lietadla povolený na vyrolovanie z dráhy a presun až ku dráhe 12/30, kde obdrží ďalšie povolenie. V niektorých prípadoch ho na tomto mieste očakáva vozidlo s nápisom nasleduj ma, ktoré ho odprevadí na správne parkovacie státie.

Experiment č.2

Pre návrh tohto experimentu boli využité referenčné práce. Tieto práce pojednávajú o optimalizácii používania priestoru v konečnom kontrolnom úseku letiska (terminal control area) a bezpečnosti pri využívaní paralelných dráh v spojení s PBN. Tieto práce boli Autorom naštudované a následkom bolo vyvodenie tohto experimentu, tak ako v predchádzajúcom prípade. [18,22]

Ďalším navrhovaným experimentom je simulácia priletu a priblíženia lietadla spojeným s následným opätovným odletom s využitím obidvoch paralelných dráh. Cieľom tohto experimentu je zefektívnenie priletových postupov STAR, odletových postupov SID či procedúr nevydareného priblíženia. Jedná sa o zefektívnenie pozície bodov na týchto mapách, nie len z hľadiska ekonomickej optimalizácie ale najmä bezpečnosti prevádzky s prihliadnutím na prevádzkové režimy, ktoré sa budú využívať.



Testovacím subjektom bude pilot lietadla, ktorý bude nasledovať mapy STAR z viacerých vstupných bodov. Následným priblížením, vykonaním procedúry nevydareného priblíženia, opätovným priblížením spojeným s pristátím na novú paralelnú dráhu 06R/24L. Po pristátí bude simulátorom opäť prenesený na prah odletovej dráhy, kde odštartuje a bude nasledovať procedúry SID na všetky navrhované výstupné body.

Tento experiment bude možné nasimulovať za VMC a aj IMC, s ohľadom na limitácie modelu pre novú paralelnú dráhu.

Sledovaním pohybu očí pilota vo VR simulátore na FD ČVUT a dodatočnou kontrolou jeho životných funkcií je možné zaznamenávať jeho stresové zaťaženie, zapisovačom pohybu lietadla v priestore je možné kontrolovať dodržiavanie a presné vykonávanie prevádzkových postupov.

Výsledkom tohto experimentu je identifikácia problémových bodov v procedúrach STAR/SID. Najväčším prínosom tohto experimentu je analýza bezpečnosti prevádzky na paralelných dráhach vzhľadom na navrhované príletové a odletové procedúry. Následne je možný návrh optimalizácie týchto procedúr, presunutie bodov zaručujúce dostatočné rozostupy, správnu deceleráciu lietadiel či optimalizáciu hlukových postupov.

Príkladom bezpečnostných konfliktov, ktoré je možné týmto experimentom odvrátiť, je napríklad optimalizácia postupu nevydareného priblíženia. Vzhľadom na fakt že lietadlo, ktoré túto procedúru vykonáva môže ohroziť práve odlietajúce alebo pristávajúce lietadlo na druhej dráhe.



Experiment č.3

Pre návrh tohto experimentu boli využité referenčné práce. Tieto práce pojednávajú o optimalizácii a rizikách riadenia letovej prevádzky. Tieto práce boli Autorom naštudované a následkom bolo vyvodenie tohto experimentu, tak ako v predchádzajúcom prípade. [17,18]

Tento experiment bude sledovať prácu riadiaceho letovej prevádzky pod veľkým pracovným tlakom spôsobeným veľkým náporom odlietajúcich a prilietajúcich lietadiel, ktoré sa pohybujú po pojazdových dráhach.

Pre tento experiment je žiadúce využiť jeden zo simulátorov, ktoré vlastní ĽLP a ktoré sú využívané na výcvik nových riadiacich letovej prevádzky.

Testovaným subjektom bude v prvom rade jeden riadiaci letovej prevádzky. Tento subjekt bude riadiť prevádzku na oboch dráhach simultánne. Vybieranými dátami bude vyhodnotená jeho pracovná záťaž a navrhnutá optimalizácia spojená s kalkuláciou maximálneho počtu lietadiel pre jedného riadiaceho letovej prevádzky.

V druhom rade bude do tohto experimentu začlenený aj druhý riadiaci letovej prevádzky, pri tomto experimente sa kompetencie riadiacich rozdelia a každý člen bude riadiť svoju časť letiska. Vybieranými dátami bude opäť vyhodnotená ich pracovná záťaž a navrhnutá optimalizácia spojená s kalkuláciou maximálneho počtu lietadiel pre dvoch riadiacich letovej prevádzky.

V poslednom rade bude do tohto experimentu začlenený aj tretí riadiaci, ktorého úloha bude práca s lietadlami na pojazdových dráhach. Zvyšný dvaja riadiaci letovej prevádzky budú mať za úlohu riadenie dráh v používaní. Po tomto experimente opäť prebehne vyhodnotenie, tak ako v predchádzajúcich prípadoch.

V extrémnom prípade je možné kompetencie rozdeliť až medzi štyroch riadiacich a to medzi dvoch, ktorých úloha bude riadenie dvoch hlavných dráh a ďalších dvoch, ktorí si rozdelia prácu na pojazdových dráhach Sever a Juh



Ďalej sa tento experiment môže deliť na ďalšie 3. varianty a to na: prevádzku cez deň, v noci a za zlých poveternostných podmienok (LVO).

Následne za využitia pseudopilotov prebehne simulácia veľkého náporu prilietajúcich a odlietajúcich lietadiel. Pri tejto simulácii budú začlenení piloti, ktorí nikdy na letisku Václava Havla neboli a vyžadujú si tým pádom väčšiu mieru pozornosti, spolu so skúsenými pilotmi, ktorí z tohto letiska operujú denne.

Tento experiment bude sledovať prácu riadiacich letovej prevádzky pod veľkým pracovným tlakom. Očakávanými výsledkami tohto experimentu je nájdenie optimálneho množstva riadiacich letovej prevádzky a používaných frekvencií vzhľadom na početnosť prilietajúcich a odlietajúcich lietadiel. Rozdelenie ich kompetencií a optimálne rozdelenie riadených úsekov.

Predpokladom pri používaní paralelných dráh v plnej prevádzke pri maximálnej kapacite je používanie dvoch frekvencií Vež (TWR) pre každú dráhu zvlášť, frekvencie zem (Ground), ktorá bude zodpovedná za pohyb na zemi. Existujúca frekvencia Delivery bude takisto využívaná na monitoring pohybu na odbavovacích plochách, koordináciu s odbavovacími spoločnosťami či doručením potrebných povolení (ak by lietadlo nebolo vybavené systémom CPDLC alebo bol tento systém nefunkčný).



8. Závěr

V tejto práci sa Autor zaoberal predovšetkým vypracovaním dostatočne verného modelu paralelnej dráhy na letisku Václava Havla v Prahe za účelmi vykonania experimentov v leteckom simulátore. Po vybratí správnej platformy, na ktorej modelácia prebiehala a vypracovaní všetkých podkladov, ktoré neoddeliteľne patrili ku projektu, bola zahájená samotná modelácia.

Modelácia paralelnej dráhy a pojazdových dráh spolu s ich denným a nočným značením prebehla bez významných problémov. Hlavnou limitáciou bola implementácia systému ILS ako bolo zmienené v kapitole Limitácie. S odstránením tohto problému je do budúcnosti počítané a to následkom spolupráce so softwarovým developerom.

Záverom tejto práce bolo navrhnutie možných experimentov na leteckých simulátoroch s cieľom optimalizovať nie len stávajúci projekt paralelnej dráhy, ale aj postupy v reálnej prevádzke po spustení dráhy.

Správnym vykonaním týchto experimentov, zbieraním množstva dát a spoluprácou so zamestnancami Letiska Václava Havla v Prahe, ktorí sú zodpovední za tento projekt, je predpoklad optimalizácie existujúceho projektu. Ďalším benefitom tohto modelu je možná spolupráca s Řízením Letového Provozu. Tento model je možné zapožičať zamestnancom ŘLP, ktorí sú zodpovední za simulátory, ktoré sú primárne využívané na výcvik budúcich riadiacich letovej prevádzky. Vykonaním experimentov bude optimalizácia činností riadiacich letovej prevádzky v rámci využívania novej paralelnej dráhy.



Zoznam použitých zdrojov

- [1] Letiště Václava Havla Praha, paralelní dráha. [online]. [cit. 1.7.2021].
Dostupné z: www.prg.aero/paralelni-draha
- [2] Jeppesen, mapa prístrojového priblíženia na dráhu 12/30. [online]. [cit. 1.7.2021]. Dostupné z: <http://jeppesen.com/icharts/>
- [3] Microsoft Flight simulator. [online]. [cit. 1.7.2021]. Dostupné z: flightsimulator.zendesk.com/hc/en-us
- [4] Xplane 11 Flight simulator. [online]. [cit. 1.7.2021]. Dostupné z: www.x-plane.com
- [5] Prepar3D Flight simulator. [online]. [cit. 1.7.2021]. Dostupné z: www.prepar3d.com/experience/
- [6] Ast-simulator. [online]. [cit. 1.7.2021]. Dostupné z: www.ast-simulators.com.au/start-here/frasca-solutions/reconfigurable-training-device
- [7] Flightdeck solutions. [online]. [cit. 1.7.2021]. Dostupné z: flightdecksolutions.com/our-fleet/B737NG
- [8] ECA group. [online]. [cit. 1.7.2021]. Dostupné z: www.ecagroup.com/en/training-simulation/flight-training-simulators
- [9] Oculus, VR technológia. [online]. [cit. 1.7.2021]. Dostupné z: www.oculus.com/research/
- [10] Harrison Jesse Smith, Michael Neff, 2017: Communication Behavior in Embodied Virtual Reality, [online]. [cit. 1.7.2021]. Dostupné z: scontent.fprg5-1.fna.fbcdn.net/v/t39.2365-6/27699338_216733292218561_8182170323903315968_n.pdf?_nc_cat=105&ccb=1-5&_nc_sid=ad8a9d&_nc_ohc=Zfforkk0YwAX_cUQ0M&_nc_ht=scontent.fprg5-1.fna&oh=39b943033b631e2a5cabf31f7781fdc9&oe=61A65BBB
- [11] World editor manual. [online]. [cit. 18.10.2021]. Dostupné z: developer.x-plane.com/manuals/wed/



[12] Technical Support Xplane 11. [online]. [cit. 18.10.2021]. Dostupné z: forums.x-plane.org/index.php?/forums/topic/123263-how-to-create-ils/

[13] ICAO parallel runway operations. [online]. [cit. 1.7.2021]. Dostupné z: https://www.icao.int/Meetings/AMC/MA/Eleventh%20Air%20Navigation%20Conference%20%28ANConf11%29/anconf11_ip003_app_en.pdf

[14] Ministerstvo dopravy České republiky, Úřad pro civilní letectví, 2009: Letecký předpis L14 č. 641/2009-220-SP/4. [online]. [cit. 1.7.2021]. Dostupné z: https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-14/data/print/L-14_cely.pdf

[15] Finálna správa nehody na Tenerife. [online]. [cit. 18.10.2021]. Dostupné z: <https://www.faasafety.gov/files/gslac/courses/content/232/1081/finaldutchreport.pdf>

[16] ICAO Doc 9870 AN/463, Manual of the Prevention of Runway Incursions. [online]. [cit. 10.11.2021]. Dostupné z: www.icao.int/safety/RunwaySafety/Documents%20and%20Toolkits/ICAO_manual_prev_RI

[17] Xu R., Luo F., Chen G., Zhou F., Abdulahi E.W. 2021: Application of HFACS and grounded theory for identifying risk factors of air traffic controllers' unsafe acts. [online]. [cit. 10.11.2021]. Dostupné z: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85117159969&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=e008918a73e80a4d7ee6aa78063d29a3&sot=b&sdt=cl&cluster=scoexactkeywords%2c%22Air+Traffic+Control%22%2c%2c%22Aircraft%22%2c%2c%22Airports%22%2c%2c%22Air+Transportation%22%2c%2c%22Airport+Runways%22%2c&sl=20&s=ALL%28Parallel+runway%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=#indexed-keywords>

[18] Marcella Samà, Andrea D'Ariano, Paolo D'Ariano, Dario Pacciarelli 2017: Scheduling models for optimal aircraft traffic control at busy airports: Tardiness, priorities, equity and violations considerations. [online]. [cit. 10.11.2021]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305048316301165>

[19] EASA, CS-ADR-DSN Aerodromes Design

[20] Fotografia letiska Václava Havla v MS2020. [online]. [cit. 1.7.2021]. Dostupné z: <https://flightsim.to/file/2096/vaclav-havel-airport-ruzyne-lkpr>



[21] Yang Peng, Gao Wei, Sun Jun-Qing 2013: Capacity Analysis for Parallel Runway through Agent-Based Simulation. [online]. [cit. 10.11.2021]. Dostupné z: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2013/505794/>

[22] Stanley Förster, Hartmut Fricke, Bruno Rabiller 2019: Analysis of safety performances for parallel approach operations with performance based navigation. [online]. [cit. 10.11.2021]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/334041232_Analysis_of_safety_performances_for_parallel_approach_operations_with_performance_based_navigation



Zoznam obrázkov

Obrázok č.1- Historická fotografia Letiska Václava Havla v Prahe

Obrázok č.2- Približovacia mapa dráhy 12/30 vedúca cez mesto Praha

Obrázok č.3- Ukážka Letiska Václava Havla v Microsoft Flight Simulátore 2020

Obrázok č.4- Projekt paralelnej dráhy

Obrázok č.5- Podklad pojazdových dráh pre účely modelácie vytvorený
v ArchiCADe

Obrázok č.6- Základná vrstva pojazdových dráh

Obrázok č.7- Kryt pojazdovej dráhy

Obrázok č.8- Pokračovanie siete pojazdových dráh

Obrázok č.9- Sieť podjazdového svetelného značenia

Obrázok č.10- Sieť taxi routes

Obrázok č.11- Ochranná zóna

Obrázok č.12- Zväčšenie terminálu 2

Obrázok č.13- Mapa rádio navigačných prostriedkov

Obrázok č.14- Porovnanie podkladu s vypracovaným modelom

Obrázok č.15- Priblíženie na dráhu 24L

Obrázok č.16- Rolovanie po pojazdovej dráhe

Obrázok č.17- Odlet z dráhy 24L

Obrázok č.18- Mapa pojazdového systému na letisku Václava Havla Praha

Obrázok č.19- Rolovanie po pojazdovej dráhe v noci