



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Milan Badal

**VYUŽITÍ VIRTUÁLNÍ REALITY V POČÁTEČNÍM
VÝCVIKU PILOTŮ**

**VIRTUAL REALITY APPLICATION IN INITIAL PILOT
TRAINING**

Bakalářská práce

2021



K621 **Ústav letecké dopravy**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Milan Badal

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – PIL – Profesionální pilot

Název tématu (česky): **Využití virtuální reality v počátečním výcviku pilotů**

Název tématu (anglicky): Virtual Reality Application in Initial Pilot Training

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem bakalářské práce je vytvořit materiály pro praktický výcvik pilotů, ve formě virtuální reality. Tyto materiály by uživatelům (pilotům ve výcviku) pomocí virtuální reality přiblížily praktické úlohy v rámci výcviku.
- Vypracujte analýzu současného stavu v problematice využívání virtuální reality s využitím v leteckém výcviku. Rešerši zaměřte na výcvik ve všeobecném letectví.
- Vytvořte záznam letu z kokpitu letadla při konkrétní letové úloze. Na základě vytvořeného záznamu ho implementujte pro zobrazení ve virtuální realitě.
- Porovnejte výkonnost u skupiny pilotů, která absolvovala předletovou přípravu s využitím virtuální reality se skupinou bez této přípravy.
- Na základě dosažených výsledků diskutujte možnosti implementace virtuální reality do výcvikových programů.
- Stanovte závěry práce.



- 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: Provozní příručky a osnovy F-AIR s.r.o.
Thurman, Richard Allen, and Trish Russo. "Using virtual reality for training." *Aircrew training and assessment* (2000): 85-103.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vladislav Pružina, Ph.D.**
doc. Ing. Bc. Vladimír Socha, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: **9. 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: **9. srpna 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.

.....
Milan Badal
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 9. října 2020



Poděkování

V první řadě bych chtěl poděkovat vedoucím mé práce Ing. Vladislavu Pružinovi, Ph.D. a doc. Ing. Bc. Vladimíru Sochovi, Ph.D. za odborné vedení závěrečné práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Filipu Bartůňkovi z letecké školy F air a Mgr. Lukáši Jiříčkovi z firmy icebreakers.cz za pomoc při tvorbě virtuální reality v rámci experimentu a všem pilotům, kteří se účastnili testování.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat všem, kteří mě podporovali v průběhu celého studia.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání 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 26. června 2021

podpis



VYUŽITÍ VIRTUÁLNÍ REALITY V POČÁTEČNÍM VÝCVIKU PILOTŮ

bakalářská práce

červenec 2021

Milan Badal

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je zhodnotit využitelnost virtuální reality ve výcviku pilotů. Pro naplnění tohoto cíle byl vytvořen experiment, který byl rozdělen do dvou částí. V první části byly vytvořeny a zpracovány materiály ve formě virtuální reality určené k implementaci do výcviku pilotů. V druhé části experimentu byla takto vytvořená virtuální realita poskytnuta pilotům ve výcviku a ti pak pomocí dotazníků hodnotili její přínos. Součástí práce je analýza současné situace z pohledu leteckých výcviků, dalších experimentů zabývajících se využitelností virtuální reality a aktuálně dostupného hardwaru a softwaru. V rámci závěru na konci práce jsou diskutovány výsledky experimentu a možnosti implementace virtuální reality do výcviku.

Klíčová slova

virtuální realita, výcvik pilotů, 360° video, VR headset



VIRTUAL REALITY APPLICATION IN INITIAL PILOT TRAINING

bachelor thesis

July 2021

Milan Badal

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to evaluate the usability of virtual reality in pilot training. For fulfilling of this aim was created the experiment, that was divided into two phases. In the first phase was created and processed materials in form of virtual reality for implementation into pilot training. In the second phase of experiment was this kind of virtual reality provided to pilots currently in training to evaluate its benefits via the questionnaire. The part of this thesis is also the analysis of current situation from the perspective of flight trainings, another reaserches dealing with usability of virtual reality and currently available hardware and software. The results of the experiment are discussed in the conclusion as well as the options of implementation of virtual reality into flight training.

Key words

virtual reality, flight training, 360° video, VR headset



Seznam zkratek

2D – 2 Dimenzionální (2 Dimensional)

3D – 3 Dimenzionální (3 Dimensional)

AHRS – Polohový a kurzový referenční systém (Attitude and Heading Reference System)

AMC – Přijatelné způsoby průkazu shody (Acceptable means of compliance)

AR – Rozšířená realita (Augmented Reality)

ATO – Autorizovaná výcviková organizace (Authorised Training Organization)

ATPL (A) – Licence dopravního pilota (Airline Transport Pilot Licence)

ATZ – Letištní provozní zóna (Aerodrome Traffic Zone)

CAA – Úřad civilního letectví (Civil Aviation Authority)

CAVE – Virtuální prostředí CAVE (CAVE Automated Virtual Environment)

CBT – Výcvik založený na kompetencích (Competency Based Training)

CPL (A) – Licence komerčního pilota (Comercial Pilot Licence (Aircraft))

DTO – Deklarovaná výcviková organizace (Declared Training Organization)

FAA – Federální letecká správa (Federal Aviation Administration)

FCL – Licencování leteckého personálu (Flight Crew Licencing)

FFS – Plně pohyblivý letecký simulátor (Full Flight Simulator)

FNPT – Simulátor navigačních letových postupů (Flight Navigation Procedure Trainer)

FSTD – Zařízení simulace letu (Flight Simulation Training Device)

FTD – Letecký simulátor (Flight Training Device)

HMD – Projekční helma (Head Mounted Display)

HUD – Průhledový zobrazovač (Head-Up Display)

IFR – Pravidla letu podle přístrojů (Instrument Flight Rules)

IMC – Meteorologické podmínky pro let podle přístrojů (Instrument Meteorological Conditions)

IR – Přístrojová kvalifikace (Instrument Rating)

LAPL (A) – Průkaz pilota lehkých letadel (Light Aircraft Pilot Licence (Aircraft))



MCC – Let ve vícečlenné posádce (Multi Crew Cooperation)

MED – Zdravotní (Medical)

MEP – Vícemotorový pístový letoun (Multi Engine Piston)

MPL – Licence člena vícečlenné posádky (Multi-Crew Pilot Licence)

PIC – Velící pilot (Pilot in Command)

PPL (A) – Průkaz soukromého pilota (Private Pilot Licence (Aircraft))

SEP – Jednomotorový pístový letoun (Single Engine Piston)

SITAW – Situační povědomí (Situational Awareness)

SOP – Standardní operační postupy (Standard Operating Procedures)

TMA – Koncová řízená oblast (Terminal Control Area)

UTC – Univerzální koordinovaný čas (Universal Coordinated Time)

VFR – Pravidla pro let za viditelnosti (Visual Flight Rules)

VMC – Meteorologické podmínky pro let za viditelnosti (Visual Meteorological Conditions)

VR – Virtuální realita (Virtual Reality)



Obsah

Úvod.....	8
1. Analýza současného stavu.....	10
1.1. Současný výcvik.....	10
1.1.1. Pilotní kvalifikace.....	10
1.1.2. Osnova.....	12
1.2. Literární Rešerše.....	14
1.3. Technologie.....	22
1.4. Hardware a systémy VR.....	24
1.5. Software a principy VR.....	28
1.6. Shrnutí	30
2. Materiály a metodika	31
2.1. Návrh experimentu.....	31
2.2. Subjekty	31
2.3. Experiment – 1. část.....	32
2.3.1. Zkušební let	32
2.3.2. Natáčení 360° videa	33
2.3.3. Zpracování videa.....	36
2.3.4. Výsledek 1. části experimentu.....	38
2.4. Experiment – 2. část.....	40
2.4.1. Použité zařízení a metody hodnocení	40
2.4.2. Kolekce dat	41
3. Výsledky.....	42
4. Diskuse	49
5. Závěr.....	51
Seznam použité literatury	53
Seznam obrázků	58
Seznam tabulek.....	60
Seznam Příloh.....	61



Úvod

Letecká doprava patří mezi nejbezpečnější druhy dopravy. Jedním z faktorů, které přispívají k vysoké bezpečnosti letecké dopravy, je náročný výcvik pilotů. Uchazeč o licenci ATPL (A) má na výběr z několika typů výcviků. Všechny výcviky však mají podobnou úvodní část, kde piloti ve výcviku trénují pilotáž jednomotorového pístového letadla.

F air spol. s.r.o. (dále jako letecká škola F air) je jedním z poskytovatelů modulového a integrovaného výcviku ATPL. V letecké škole F air jsem v době tvorby této bakalářské práce studentem ve výcviku v poslední fázi integrovaného ATPL výcviku.

Pro začínajícího pilota může být v počátcích praktického výcviku komplikované porozumět, co od něj bude očekáváno v rámci jednotlivých úloh. Dosavadní dostupné materiály vysvětlí problematiku letových úloh, avšak nesoustředí se na všechny detaily dané úlohy. Jednou z možností, jak pokrýt veškeré postupy a úkony v letové úloze, je využít virtuální realitu.

V letecké škole F air je před každou letovou úlohou v první fázi praktického výcviku do osnovy zařazena pozemní příprava. V rámci pozemní přípravy je s pilotem rozebrána problematika aktuální letové úlohy. Instruktor pomocí prezentací nebo jiných nástrojů probere se studentem co je cílem letové úlohy. Následně se instruktor se žákem přemístí do letadla a nacvičí předepsané prvky pro úlohu za letu.

Cílem této bakalářské práce je rozšířit dostupné studijní materiály určené pro pozemní přípravu v praktickém výcviku. Nutno zdůraznit, že virtuální realita by měla studijní materiály rozšířit, ale rozhodně ne nahradit. Pozemní příprava s virtuální realitou by měla probíhat tak, že instruktor studentovi vysvětlí, co bude v letové úloze cvičit stejným způsobem, jako by to dělal i bez virtuální reality. Následně pak student navíc ke standardní náplni pozemní přípravy využije právě virtuální realitu. S takovýmto postupem by měl student už být schopen identifikovat vše, co se děje ve virtuální realitě kolem něj.

Virtuální realita bude zpracována tak, že dojde k natočení 360° videa, které se následně v produkci doplní o virtuální prvky, které budou sloužit ke zvýraznění, popřípadě k vysvětlení, toho, co se bude ve virtuální realitě odehrávat. Takto vzniklý produkt bude studentům k dispozici ve virtuálním headsetu. Výhodou tohoto headsetu je zakrytí celého zorného pole studenta. Pilot tak bude vtažen do děje a bude existovat menší pravděpodobnost interakce pilota s rušivými elementy okolí. Ve srovnání například se sledováním videa nebo s projekcí prezentace by měla tato metoda studia, jež zahrnuje virtuální realitu, být efektivnější.

Využití virtuální reality ve výcviku by mělo mít přínos hlavně v počátečních fázích leteckého výcviku, na které je zaměřena i tato bakalářská práce. V této fázi výcviku si studenti teprve seznamují s letadlem a létáním a učí se úkony potřebné pro samostatné provedení letu, a tedy



aby mohli v budoucnu být velitelem letadla. Právě proto, že se jedná o první hodiny v letadle, může zde být určitou bariérou právě nejistota, kdy přesně mají určitý úkon udělat, ačkoli samotný postup můžou znát dobře. Jako příklad lze uvést let po okruhu, což bude právě úloha, která se bude ve virtuální realitě zpracovávat pro potřeby této práce. V tomto příkladu může být pilot dobře připraven a znát přesnou sekvenci jednotlivých postupů. Například postupů, jež je nutné provést na okruhu v poloze „po větru“, avšak v letadle může znejistět, kdy přesně s těmito úkony začít. Dalším problémem může být nejistota kdy provést jednotlivé okruhové zatáčky, kdy vysunout vztlakové klapky, popřípadě kdy dělat další potřebné postupy. S pomocí virtuální reality by takto způsobené nejistoty pilotů měly být eliminovány. Jiným příkladem může být obtíž pro pilota představit si, jak bude let probíhat, a to zejména pokud se jedná o první let v určité letové úloze. Virtuální realita může pomoci i pilotovi, který měl delší přestávku od létání, připomenout si postupy, tvar okruhu a další prvky.

Výsledkem implementace virtuální reality do výcviku pilotů by měla být větší sebejistota pilotů, kteří budou provádět let, snížení času potřebného na adaptaci pilota v letadle a adaptaci na příslušnou letovou úlohu a zvýšení bezpečnosti provozu v oblasti příslušného letiště. V návaznosti na snížení času potřebného na adaptaci pilota by mělo dojít ke zkrácení nebo eliminaci času, který piloti v rámci úloh přelétávají nad rámcem osnovy z důvodu nedostatečného výkonu v letové úloze, a tudíž ke snížení potřebných výdajů za výcvik.



1. Analýza současného stavu

1.1. Současný výcvik

V současné době existuje několik cest, které vedou k získání licence dopravního pilota. Evropská komise vydala Nařízení Komise (EU) 1178/2011, kde jsou stanoveny požadavky na získání pilotní licence, osnovy pilotních výcviků a další náležitosti, podle části I. (Part-FCL) [1]. Nároky na zdravotní způsobilost pilotů jsou stanoveny v uvedeném nařízení, v části IV. (Part-MED) [2].

Osoba ucházející se o pilotní licenci musí dokončit výcvik ve schválené výcvikové organizaci (ATO) nebo v deklarované výcvikové organizaci (DTO). Jednou z možností je modulový výcvik ATPL, kde student postupně získává jednotlivé licence (PPL, CPL, IR, MCC). Další možností je integrovaný výcvik ATPL, při kterém není potřeba získat každou licenci zvlášť, ale stačí složit teoretické a praktické zkoušky pouze na tu nejvyšší kvalifikaci. Tento druh výcviku je omezen na maximální délku trvání 3 roky. Poslední, odlišnou, cestou je získání licence MPL.

1.1.1. Pilotní kvalifikace

Pilotní průkaz je certifikát, který je vydaný Úřadem pro civilní letectví (CAA) a opravňuje držitele vykonávat funkci velícího pilota (PIC) na letounech a typech letu, pro které je licence vydána.

License pilota lehkých letadel LAPL (A) opravňuje držitele létat jako velitele letadla (PIC) na jednomotorových pístových motorech s maximální vzletovou hmotností (MTOW) do 2 000 kg. Minimální věk žadatele o závěrečnou zkoušku musí být 17 let. Nálet nutný pro získání této kvalifikace je 30 hodin. Výhodou oproti licenci PPL je nižší potřebná zdravotní způsobilost.

License soukromého pilota PPL (A) opravňuje držitele létat na letadlech těžších než 450 kg. Minimální věk pro získání PPL (A) je 17 let. Výcvik zahrnuje 45 hodin, z čehož může být maximálně 5 na simulátoru. Na rozdíl od kvalifikace LAPL (A) je potřeba být držitelem průkazu 2. třídy zdravotní způsobilosti, která má přísnější požadavky pro získání.

Pokud je žadatel držitelem jiné licence, je možné započítat do jeho výcviku až 10% předchozí letové praxe, avšak maximálně 10 hodin. Výjimka platí pro držitele licence LAPL (A), u kterých bude započítán veškerý čas v rámci výcviku LAPL (A) (tj. 30 hodin), tudíž jsou povinni dolétat pouze rozdíl náletu pro LAPL (A) a PPL (A), což je 15 hodin.

License soukromého pilota lze získat i v průběhu integrovaného výcviku ATPL a výcviku MPL.

Oba zmíněné výcviky slouží k získání prvních licencí na letouny. Osnova výcviku PPL je s určitými modifikacemi obsažena i v integrovaném ATPL výcviku a výcviku MPL. Pro studenty těchto dvou výcviků však není povinnost skládat praktickou ani teoretickou zkoušku PPL, pokud o tuto kvalifikaci nemají zájem. V případě, že se pro ni rozhodnou, plynou z toho výhody,

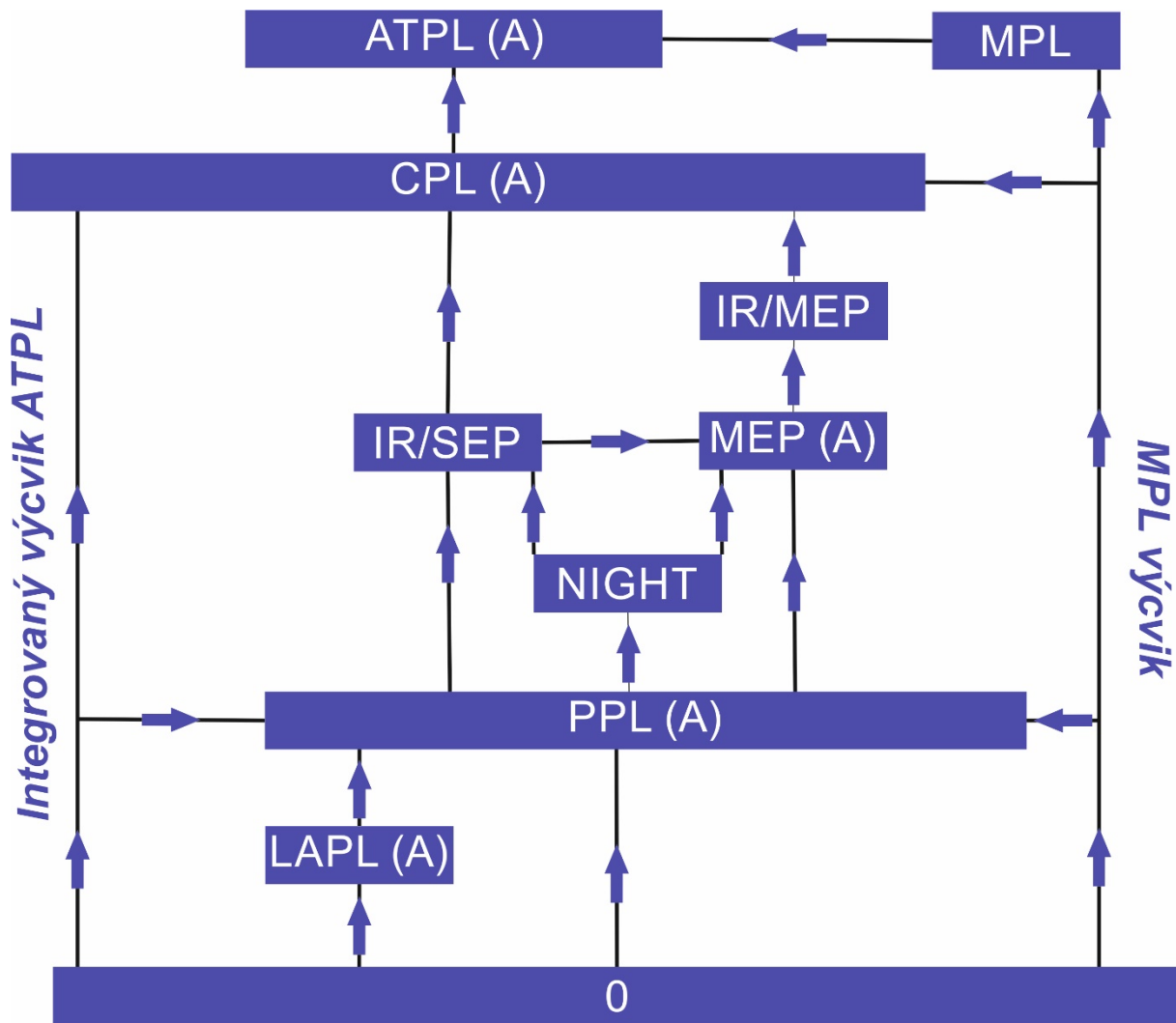


jako například možnost letů do zahraničí v rámci navigačních letů integrovaného ATPL výcviku.

Na tyto licence pak navazují další licence, které musí student dokončit pro získání licence ATPL (A) cestou modulového výcviku. Jedná se o noční doložku NIGHT, která není povinná, avšak opravňuje držitele licence PPL (A) vykonávat noční lety. Dále je to přístrojová doložka pro jednomotorové letouny (IR/SEP) opravňující pilota provést let v IMC, licence MEP (A) na vícemotorové letouny, přístrojová doložka pro vícemotorová letadla (IR/MEP) a nakonec licence obchodního pilota letounů (CPL (A)), což je nejvyšší licence, která se získá úspěšným složením praktické zkoušky. Pro získání vyšší kvalifikace ATPL (A) je nutné mít složenou praktickou zkoušku CPL (A), zkoušku IR/MEP a teoretické zkoušky ATPL. Zároveň je také možné získat ATPL (A), pokud je žadatel držitelem MPL licence a složil teoretické zkoušky ATPL. V tomto případě však může žadatel vykonávat funkci pilota pouze ve vícečlenné posádce. Při splnění podmínek pro získání licence ATPL (A) pilot získá licenci dopravního pilota, pokud jeho nálet čítá 1500 hodin. Pro získání kvalifikace CPL (A) a vyšší je nutné být držitelem zdravotního osvědčení 1. třídy podle Nařízení Komise (EU) 1178/2011, části IV. (Part-MED).

Integrovaný výcvik obsahuje všechny fáze, které pilot absolvuje v rámci modulového výcviku. Rozdíl však je v postupu získávání licencí. V integrovaném výcviku pilot získá kvalifikaci až na konci výcviku v rámci licence CPL (A). Licenci PPL (A) může, ale nemusí, získat v průběhu výcviku.

Dalším typem licence je pak kvalifikace pilota vícečlenné posádky (MPL), kde je student cvičen po celou dobu výcviku přímo na daný typ letadla. První fáze tohoto výcviku probíhá na jednomotorovém letadle. Osnova, až na malé odlišnosti, je stejná jako osnova výcviku soukromého pilota. Po dokončení fáze 1 je student cvičen pouze na simulátoru. Po dokončení MPL výcviku je držitel licence oprávněn vykonávat funkci pilota ve vícečlenné posádce. K získání licence CPL (A) je nutné absolvovat rozšiřující výcvik. Jak bylo uvedeno v předchozím odstavci, držitel MPL licence může bez dalšího výcviku získat ATPL (A) licenci pro vykonávání funkce pilota ve vícečlenné posádce. Aby mohl držitel této licence uplatňovat pravomoci velícího pilota (PIC) v jednopilotním letadle, je potřeba podstoupit rozšiřující výcvik. MPL výcvik ve srovnání s integrovaným a modulovým výcvikem zahrnuje více hodin na simulátoru, méně v letadle a je zaměřen více na potřeby aerolinií. Pro lepší přehlednost je schéma výcviků znázorněno na obrázku 1.1.



Obrázek 1.1 Schéma výcviků.

1.1.2. Osnova

Osnova počátečních fází výcviku, ať již výcviku pro získání licence PPL (A), integrovaného ATPL výcviku, nebo výcviku MPL, je definována v části I (Part-FCL).

Nejdříve se student seznámí s letadlem, jeho charakteristikami, uspořádáním kokpitu a systémy letadla. Následuje nácvik nouzových postupů, například při vysazení motoru, požáru na palubě a dalších závad, které mohou nastat během letu. Posledním cvičením před první letem je předletová prohlídka letadla. Ta zahrnuje například nastavení letadla, prohlídku kabiny a exteriéru letadla nebo kontrolu dokumentace.

Během letových hodin se student musí nejdříve naučit s letadlem pojíždět. Za letu se jedná o let v horizontu, stoupání, klesání, zatáčení, let v malých rychlostech, rozpoznání pádu, spirály, nebo vývrtky. Následně vzlet, stoupání do okružové výšky, let po okruhu, přiblížení a přistání. Pokud student tyto úlohy zvládá, pokračuje ve výcviku s nácvikem nouzových situací na



okruhu, procedurami pro nezdařené přiblížení (missed approach), řešení vadných přistání (postupy pro případ vyplavání letadla nebo odskoku od dráhy). Po dokončení těchto úloh následuje přezkoušení na první sólový let. V případě jeho úspěšného dokončení je student vypuštěn na první sólo let. V letecké škole F air je před každou novou letovou úlohou s pilotem ve výcviku v rámci pozemní přípravy rozebrána problematika dané letové úlohy.

V další fázi se pokračuje ve výcviku s pokročilým ovládním letadla s ostrými zatáčkami, pády v zatáčkách a vybíráním nezvyklých poloh. Následují nouzové postupy v terénu. Sem patří vysazení motoru, výběr plochy a nouzové přistání. Provedení bezpečnostního přistání může být způsobeno inkapacitací pilota, západem slunce nebo jinou situací vyžadující provedení tohoto postupu. Dále je to navigace a radionavigace pro účely navigačních letů. A poslední úlohou jsou základy letu podle přístrojů pro případ, kdy se pilot dostane do podmínek neumožňujících provedení letu za přímé viditelnosti země, ačkoliv by v této fázi výcviku tento scénář nastat neměl.

Každá ATO nebo DTO pak následně vytvoří osnovu, která bude zahrnovat všechny body obsažené v Nařízení Komise (EU) 1178/2011, části I. (Part-FCL) a určí požadovaný nálet. Ten může být určen počtem letů nebo letovou dobou. Část osnovy vytvořenou ATO je v tabulce 1.1. Ve znázorněné části osnovy je vidět, že pro úspěšné splnění úlohy je potřeba mít požadovaný nálet, který může být vyšší například protože žák potřeboval více času pro úspěšné dokončení úlohy a zároveň je potřeba mít splněné všechny elementy předepsané pro dané úlohy, jež jsou definovány podle AMC vydané k Nařízení Komise (EU) 1178/2011 Part-FCL. Následně jsou jednotlivé elementy ohodnoceny u každého pilota známkou. Pokud pilot dostane známku, která není dostačující, pak v osnově daného pilota není daný element považován za splněný.

Tabulka 1.1 Osnova výcviku

Číslo úlohy	Název úlohy	Požadavky	Status			
			Požadavky	Splněno		
10	Teoretická příprava před prvním sólo letem	Úloha 9	Požadavky	Splněno		
			Čas v úloze	0:45	0:52	Splněno
			Elementy	5	5	Splněno
11	Přezkoušení před prvním sólo letem	Úloha 10	Požadavky	Splněno		
			Čas v úloze	1:30	1:41	Splněno
			Elementy	10	10	Splněno
12	Sólo okruhy	Úloha 11	Požadavky	Splněno		
			Čas v úloze	0:30	0:34	Splněno
			Elementy	2	2	Splněno



1.2. Literární Rešerše

Prvním bodem pro pochopení významu implementace virtuální reality do výcviku pilotů je definovat co znamená učení. Je to proces, během kterého si člověk osvojuje nebo přizpůsobuje novou činnost. Proces učení je možný vysvětlit pomocí teorie učení. Těch existuje několik. Podle asociativní teorie učení dochází ke spojování dříve nabytých informací s novými, což vyústí ve vytvoření mentálního modelu situace na základě spojení prezentovaných asociací, a tudíž k tvorbě situačního povědomí (SITAW). Na základě tohoto tvrzení můžeme uvažovat dosažení lepších výsledků u pilotů, kteří budou mít v rámci výcviku k dispozici zpracovanou danou úlohu ve virtuální realitě. Je to z toho důvodu, že pokud dojde ke spojení informací nabytých původní metodou, pozemní přípravou, a novou metodou, tedy virtuální realitou, dojde tak k většímu množství zdrojů, které bude pilot moci využít ke studiu, a tudíž se bude moci lépe učit.

V současné době se zavádí v letecké škole F air systém výcviku založeném na kompetencích (CBT). To znamená, že pilot ve výcviku musí prokázat určité kompetence potřebné pro výkon velitele letadla nebo pro profesi dopravního pilota. Výsledný profil absolventa leteckého výcviku by tedy měl zahrnovat definované kompetence, mezi které patří například situační povědomí, rozhodování, komunikace, znalost SOP, automatizace postupů a další kompetence. V tomto ohledu by měla virtuální realita umožnit pilotovi si vytvořit situační povědomí a lépe si osvojit znalost SOP a následně si tyto postupy zautomatizovat, což jsou důležité atributy, jež tvoří osobnost pilota.

Cílem této bakalářské práce je vytvořit materiály ve formě virtuální reality, které přispějí ke zdokonalení počátečních fází výcviku pilotů, jejich následná implementace a testování v praxi. Piloti, kteří budou mít ve výcviku možnost využít VR, by měli vykazovat rychlejší orientaci, tedy lepší SITAW a lepší výsledky při hodnocení v dané letové úloze. Před použitím virtuální reality bude již pilot seznámen s problematikou letové úlohy a s postupy a úkony, které musí během letu provést. Následně pomocí virtuální reality bude pilotovi promítána sekvence postupů, které se naučil během pozemní přípravy nebo během samostudia a tím by měl zúčastněný pilot být lépe připraven na let.

Virtuální realita (VR) je pravděpodobně nejvíce zastoupena v zábavním průmyslu, ale její využití můžeme najít i v jiných odvětvích. VR je technologie, pomocí které se vytvoří iluze skutečného prostředí, čímž se liší od rozšířené reality (AR), která nezobrazuje iluzi prostředí, ale pouze prostředí s doplněnými virtuálními prvky. VR může být zpracována tak, že uživatel bude moci interagovat s prostředím pomocí ovladačů, tudíž je potřeba celý VR set, nebo bez interakce například formou videa s využitím VR headsetu. Integrací moderních technologií,



včetně VR, se zabýval výzkum, který porovnával piloty, kteří využili ve svém výcviku VR a těch, kteří dělali pilotní výcvik bez nich a na základě výsledků byla doporučena úprava výcviku [3].

V letectví se interaktivní materiály využívají jako interaktivní kokpity letadel, kde se dají nacvičit postupy, letecké simulátory, které mohou být pohyblivé nebo implementace VR v kokpitu ve formě VR displejů [4]. Zároveň je možné tuto technologii využít i pro palubní personál pro nácvik nebo demonstraci nouzových situací a postupů.

Pro letecké školy, které nemohou vlastnit plně pohyblivé letecké simulátory, jako jsou ve výcvikových střediskách aerolinií, je možnost levnějších řešení.

Univerzity Western Michigan University a Purdue University společně s FAA, se zabývaly implementací simulací s nízkou mírou imerze do výcviku pilotů všeobecného letectví [5]. Konkrétně se jednalo o možnosti využití počítačových leteckých simulátorů Microsoft Flight Simulator X a P3D. V současnosti je možné k těmto starším simulátorům doplnit X-Plane 11 nebo Microsoft Flight Simulator 2020. Důvodem pro implementaci počítačových simulátorů do výcviku je využití simulátoru pro nácvik letu v nestandardních podmínkách.

Nejlepším příkladem je nevhodné počasí. V průběhu výcviku je student připravován na nestandardní nebo nouzové situace. V obou případech však musí být respektovány limity letadla, druhu letu a tak dále. To znamená, že nelze například přistávat s boční složkou, která by byla za limitem, na který je letadlo konstruováno. Reálně však není zaručeno, že student tento limit nepřekročí. Avšak s využitím počítačových simulátorů lze tuto situaci nacvičit. Dalším příkladem je možnost vlétnutí do podmínek IMC (Instrument meteorological conditions) při letu VFR (let za viditelnosti země). Tato situace by neměla nikdy nastat, avšak není to zaručeno na 100 %. Je zřejmé, že během výcviku nelze tuto situaci záměrně simulovat za letu vlétnutím například do oblačnosti, přičemž by byl záměrně ztracen oční kontakt se zemí. Částečně je tato situace simulována pomocí brýlí (Obrázek 1.2), avšak není to totožné jako let v IMC. Tuto situaci lze také simulovat v simulátoru. Jako další je možné uvést poruchu a zastavení chodu motoru, zaseknutí klapky pouze na jednom křídle a další.



Obrázek 1.2 Brýle určené k zakrytí výhledu z kabiny. Simulují let v podmínkách IMC.

Tato myšlenka vznikla, jelikož jsou patrné rozdíly v počtu nehod obchodní letecké dopravy a všeobecného letectví. Ze statistik FAA za rok 2015 vyplývá, že ve Spojených státech amerických [6] bylo v obchodní letecké dopravě zaznamenáno 0,155 nehody na každých 100 000 letů. To je 1 nehoda za zhruba 869 565 letů. V případě všeobecného letectví to ve stejném roce bylo 3,67 nehody na 100 000 letů. Tudíž je pravděpodobnost nehody ve všeobecném letectví zhruba 24x větší než u obchodní letecké dopravy. Podle FAA mezi roky 2001 a 2016 patřilo mezi 10 nečastějších příčin nehod všeobecného letectví neúmyslné vlétnutí do IMC, ztráta kontroly nad letadlem a závada na systémech letadla nebo na pohonné jednotce [6].

Jedním z důvodů je skutečnost, že piloti v obchodní letecké dopravě jsou cvičeni na leteckých simulátorech. V jejich případě se však jedná o plně pohyblivé simulátory, které jsou uvnitř stejné jako skutečné letadlo a simulace pro cvičené piloty je uvnitř velmi blízká realitě. Pro letecké školy, které poskytují základní výcvik, je však velkou nevýhodou simulátorů jejich pořizovací a provozní cena. Proto je zde možnost využít výše zmíněné počítačové simulátory a jiné metody, které sníží počty nehod, jejichž příčiny jsou uvedeny na konci předchozího odstavce.

Virtuální realita se dá využít nejen pro výcvik posádek a palubního personálu. VR může být přínosná i pro cestující jak v letecké dopravě, tak v jiných typech dopravy.

Výzkumy, které se zabývaly touto problematikou pro cestující letecké [7], železniční a osobní automobilové dopravy a prostředcích městské hromadné dopravy [8, 9], jsou přiblíženy v následujícím textu. Jedním z důvodů provedení těchto pokusů byla ztráta času cestujících



při pravidelném cestování na určitém úseku, například na cestě do práce. V letectví se pak jedná zejména o dlouhé lety. Cílem bylo zjistit možnost využití virtuální reality v tomto prostředí a zároveň také odhalit případné limitace.

V případě použití VR v pohybujícím se objektu (například auto) je jednou z možností vzájemně propojit hardware pro VR a polohu objektu. Toho může být docíleno například pomocí akcelerometrů a tím pádem je možné využít pohybů daného objektu k simulaci scénáře ve virtuální realitě, což by uživateli simulovalo reálnější dojem. Z toho plynou ale limitace pro využití VR.

V případě použití VR v dopravních prostředcích s více lidmi je nutné zajistit, aby nedošlo k nechtěné interakci s jiným cestujícím. Z tohoto důvodu by bylo nutné vymezit ve VR určitý prostor pro uživatele. V letadle je také potřeba vyřešit, aby uživatel mohl v průběhu simulace například pustit cestujícího, který sedí u okna, do uličky, aniž by muselo dojít k vzájemné fyzické interakci. Dále je potřeba zajistit, aby se ostatní cestující, kteří nepoužívají VR, necítili nekomfortně (zejména pokud se jedná o cestující, kteří sedí proti sobě).

Pro uživatele pak může nastat problém ve formě tzv. „motion sickness“ nebo také „simulator sickness“ [10]. Tento stav může nastat v případě, kdy se uživatel kouká na stabilní objekt nebo pevný horizont ve VR a zároveň se pohybuje v dopravním prostředku, tudíž vestibulární systém zaznamenává pohyb. Tento jev nastává zhruba u 30 % lidí a může být zmírněn využitím akcelerometrů k synchronizaci VR simulace a pohybu dopravního prostředku, jak bylo uvedeno výše.

V oboru letectví může být dále VR využita při navrhování letišť (Obrázek 1.3). Součástí výzkumu, který se zabýval touto problematikou, bylo vytvoření různých částí letiště [11]. Jednalo se o odbavovací halu, bezpečnostní kontrolu a další prostory, které byly vytvořeny pomocí 3D vizualizace. Účastníci výzkumu pak měli ohodnotit návrhy vytvořených prostor pomocí dotazníku a navrhnout úpravy a změny.

Výzkum poukázal na výhody použití VR a 3D vizualizace při navrhování určitého prostoru nebo objektu (v tomto případě prostor letiště). Takto prezentovaný návrh je realističtější a v případě interiérů komplexních staveb, jako jsou například letiště a jiné dopravní budovy, je díky těmto technologiím možné získat lepší zpětnou vazbu. Případné úpravy návrhu provedené na základě výše zmíněných metod vizualizace pak mohou výrazně ovlivnit podobu konečného návrhu a jeho následné stavební provedení.



Obrázek 1.3 Využití virtuální reality ve formě 3D vizualizace pro návrh terminálu letiště Pardubice z roku 2011 [35].

VR se dá využít nejen v letectví. Je vhodná pro nácvik činností a pohybů, které je potřeba vykonat. Podle provedených experimentů v těchto případech lidé vykazují lepší a přesnější pohyby než ti, kteří mají vykonat stejnou činnost, avšak její vysvětlení proběhlo bez využití VR. Toto tvrzení je vysvětleno v pokusu, kdy účastníci měli provést určité pohyby Tai Chi [12]. Tento pokus byl rozdělen na 2 části.

Účastníci experimentu byli rozděleni do 4 skupin. Jednalo se o kombinace těch, kteří využili VR technologii a ty, kteří měli k dispozici pouze 2D video a zároveň těch, kteří si mohli svoje pohyby později vyhodnotit na videu a ty co tuto možnost neměli. Učitel Tai Chi a následně účastníci experimentu byli umístěni do prostoru o tvaru krychle. V tomto prostoru byli snímáni několika kamerami. Tímto způsobem byl zachycen pohyb učitele, který byl později promítán na plátno před účastníky, kteří měli tento pohyb opakovat. Účastníkům, kteří neměli k dispozici VR, byl promítnut pouze 2D obraz na plátno toho, jak by měli daný cvik provést. Skupině, která měla k dispozici VR, byl na plátno promítnut obraz učitele, který při použití polarizačních brýlí vytvářel iluzi 3D objektu. Taktéž u této skupiny bylo možné si obraz otočit, tudíž bylo možné pozorovat pohyby učitele zepředu, zezadu a ze stran. Další výhodou bylo snímání pohybů účastníků experimentu této skupiny kamerami, jež nejen zachycovaly pohyb pro pozdější analýzu, současně však přes použitý software promítaly pohyb účastníků vedle postavy učitele. Výhodou pro cvičícího člověka tak byl pohled na svůj pohyb z pozice třetí osoby, avšak s určitou časovou prodlevou.



Výsledky tohoto experimentu potvrdily lepší výsledky lidí, kteří využili VR pro demonstraci požadovaného pohybu. Samotní účastníci pak uvedli, že obraz učitele, který předváděl dané pohyby, byl více věrohodný ve VR než v normálním 2D videu.

Tento výzkum odhalil také limitace a nedostatky technologie, jež byla použita. Účastníci experimentu poukázali na komplikace při pokusu o rozeznání menších pohybů, například rukou, při využití VR ve srovnání s 2D videem. Dále v první části experimentu byla dlouhá odezva mezi pohybem cvičícího a promítnutím jeho pohybu na plátno. Tento nedostatek byl dán technickými parametry užitého hardwaru. Poslední uvedený nedostatek byla skutečnost, že při provádění pohybu musel účastník stále pozorovat plátno z důvodu nutnosti pozorovat učitele nebo obraz svojí osoby.

Řešením tohoto problému by bylo užití plně imerzních zařízení jako CAVE nebo HMD. A to například pro demonstraci činnosti, která má být vykonána, zejména pokud se jedná o složitější činnost nebo demonstraci výkonu zaměstnání, které má určitá rizika, jež by šla pomocí VR snížit nebo eliminovat. Dále může být využita jako simulátor nezvyklých situací, které by bylo složité nasimulovat v realitě.

Podle výsledků tohoto experimentu tedy můžeme usoudit, že při využití VR pro účely této práce, a tedy ve výcviku pilotů, by mělo být jejich počínání při letu lepší ve srovnání s piloty, kteří tuto technologii nebudou mít k dispozici.

Výzkum zabývající se problematikou provedení určitých úkonů v nasimulovaných podmínkách byl proveden u záchranných složek. Konkrétně se jednalo o hasiče v portugalském Lisabonu [13]. Zde bylo cílem, aby se byli schopni rychleji a lépe rozhodnout, jaký postup řešení zvolit při zásahu. Toho mělo být dosaženo pomocí virtuální reality. Běžně se nacvičuje rozhodování a chování hasičů pomocí prezentací v Microsoft PowerPoint. Tento způsob však přinášel limitace. Nejzásadnější limitací je omezený počet řešení dané situace. Dále pak tento program není imerzní, tudíž není praktikantovi navozen dojem přímé účasti v řešení dané situace. Výhodou VR je prostor pro více různých řešení a zároveň prostor pro chybu praktikanta.

Výzkum byl založen na vytvoření několika různých modelových situací ve virtuální realitě. Každý model situace vyžadoval k jeho řešení čtyři kroky. Nejdříve rozpoznání problému, naplánování akce (řešení problému), zahrnutí řešení do následného postupu a nakonec vyhodnocení. Data pro výzkum byla zajištěna pomocí dotazníků, rozhovorů, pozorování a tak dále. Vyhodnocení dat proběhlo deskriptivní statistikou.

Výzkum byl rozdělen na dva cykly, které proběhly v různých obdobích. První cyklus měl k dispozici 8 různých scénářů. Jednalo se o požár v lese, v zastavěné oblasti, nehodu s nebezpečnými látkami a další situace. V druhém cyklu pak byly provedeny změny na základě



reakcí praktikantů, kteří se účastnili prvního cyklu. Zároveň byl také upraven způsob vyhodnocení účastníků výzkumu.

Z výsledků vyplynulo, že přínos virtuální reality pro řešení scénářů, které byly vytvořeny podle reálných případů, je hlavně v oblasti rozhodování, řešení situace a přehledu o situaci. Více než 75 % praktikantů pak uvedlo v dotazníku, že shledávají využití virtuální reality pro nácvik řešení problémů jako velmi přínosné. Provedením tohoto výzkumu bylo dokázáno, že VR by měla být vytvořena pro co nejvíce možných scénářů, u kterých je pravděpodobná účast praktikanta v realitě. To z toho důvodu, že praktikant pak bude provádět správnější a rychlejší rozhodnutí. Dále pak při využití VR ve výcviku je praktikant více zapojen do řešení problému a scénář má více cest k vyřešení dané situace.

Na základě závěru z tohoto experimentu můžeme postupovat obdobně i v praktické části této bakalářské práce. Ať již využijeme interaktivní nebo aktivní VR, je jasné, že při větším počtu možných scénářů bude pilot ve výcviku lépe připraven na situace, které jsou součástí výcviku. Jako příklad, kde se tato myšlenka dá prezentovat v praxi, je fáze přiblížení a přistání. Pokud bude k dispozici pro pilota ve výcviku zpracováno ve VR přiblížení, kde je letadlo na správné sestupové rovině, pak na špatné, což znamená vysoko nebo naopak nízko, a následně i řešení těchto situací, měl by pilot v letadle při výcviku vykazovat lepší výsledky ve smyslu rozhodování a řešení situace v porovnání s pilotem, který nebude mít k dispozici VR.

Další výzkum zabývající se podobnou problematikou byl proveden pomocí využití VR při výcviku horníků pracujících v uhelných dolech [14]. Výzkumu se zúčastnilo 21 horníků. Vybraná skupina měla několikaleté zkušenosti s těžbou (průměrná délka služebního věku byla 22,8 let) a zároveň s výcvikovými metodami pro nové horníky, jelikož se jednalo o vedoucí výcviku.

Scénář, který byl použit pro tento výzkum, se týkal hlavně práce s výbušninami. Při této činnosti se mohou horníci dostat do nebezpečí v případě zvýšené koncentrace methanu, který následně způsobí požár nebo výbuch. Simulace použitá pro výzkum zahrnovala evakuaci horníků z místa výbuchu, měření koncentrace methanu, vrtání děr pro umístění výbušnin a tak dále.

V první části výzkumu bylo poskytnuto účastníkům výzkumu vysoce imerzní vybavení ve formě VR rukavic, zařízení sledující pohled praktikanta a bezdrátový přijímač obrazu. Současně bylo použito HMD s různou šířkou zorného pole (45° a 110°). Pro druhou část výzkumu účastníci dostali k dispozici středně imerzní vybavení. Jednalo se joystick a HMD s malou šířkou zorného pole (45°). Poloha hlavy praktikanta byla snímána pomocí HMD, které bylo vybaveno AHRS. To znamená, že poloha zařízení je snímána pomocí tří gyroskopických zařízení, která identifikují klonění, klopení a zatáčení.



Výzkum byl vyhodnocen na základě dotazníků, ve kterých praktikanti hodnotili svoje zkušenosti s VR pro výcvik horníků. Účastníci výzkumu hodnotili jako lepší variantu využití vysoce imerzního vybavení spolu s HMD se 45° nebo 110° šířkou zorného pole. Výsledky experimentu inspirovaly poskytovatele výcviku k implementaci virtuální reality do výcviku pro horníky.

Tento experiment tedy poukazuje na skutečnost, že uživatelé, kterým bylo poskytnuto zařízení s větší mírou imerze, by měli vykazovat lepší výsledky při praktickém využití nacvičovaného úkonu. Tudíž pokud pro potřeby praktické části této bakalářské práce použijeme částečně imerzní zařízení, měli by pak uživatelé vykazovat lepší výsledky než ti, kteří budou mít k dispozici zařízení nebo materiály, které nejsou imerzní, tedy například promítání prezentace na monitor, čehož je v počátečních fázích výcviku běžně využíváno.

Studie, která porovnávala nácvik provedení laparoskopického zákroku ve virtuální realitě se standardní výcvikovou metodou [15], se zúčastnilo 44 vysokoškolských studentů medicíny. Výzkum obsahoval tři laparoskopické úlohy. Každou úlohu provedl student celkem dvanáctkrát. Zároveň bylo zajištěno, aby studenti mohli provést maximálně dva pokusy během jednoho dne. V případě dvou pokusů v průběhu dne musela být zajištěna minimální přestávka (1 hodina) mezi pokusy.

Studenti byli rozděleni do dvou skupin. První skupina prováděla výcvik ve virtuální realitě a druhá skupina standardní metodou. Studenti neměli žádnou předchozí zkušenost s provedením laparoskopických zákroků a před zahájením výzkumu jim bylo vysvětleno pouze ovládání vybavení pro danou metodu a jeden cvičný pokus metodou, jež byla přiřazena pro jejich skupinu. Ke každému typu výcviku byly přidány další dvě fáze, ve kterých si studenti vyzkoušeli nacvičit provedení laparoskopického zákroku druhou metodou. Jedna fáze byla vložena před a druhá za původní metodu. Každou z těchto přidaných fází mohli provést pouze jednou. Cílem této modifikace výcviku bylo zjistit, zda je možné pomocí dovednosti nabyté pomocí virtuální reality převést na provedení úlohy standardní metodou a naopak.

Jak již bylo výše zmíněno, studenti provedli 3 úlohy. Jednalo se o přesun kolíků, stříhání a vázání uzlů. Vyhodnocení postupu studentů bylo vyhodnoceno na základě času potřebného k dokončení zákroku, délky trajektorie, která byla opsána hrotem nástroje, a trestnými body.

Výsledky prokázaly zlepšení výkonu se zvyšujícím se počtem opakování daného úkolu u jakékoliv z výše uvedených metod. Tudíž čas potřebný k provedení zákroku se u studentů snižoval, délka trajektorie hrotu nástroje se snižovala a zároveň ubýval i počet trestných bodů. Dále se tímto výzkumem potvrdila spojitost mezi oběma metodami. Studenti, kteří nacvičovali provedení laparoskopického zákroku s využitím virtuální reality, dokázali využít získané dovednosti při provádění zákroku standardní metodou a naopak. Toto tvrzení dokazuje fakt,



že při provedení zákroku opačnou metodou po nácviku své metody vykazovali lepší výsledky než před ní. Podle výsledků studie student, který získá určité dovednosti pomocí jedné metody, není schopen je ve stejném měřítku použít i v případě druhé metody. To znamená, že výše zmíněné metody nejsou vzájemně zaměnitelné v plném rozsahu.

Z této studie vyplývá, že uživatel, který pro nácvik dané činnosti využije VR v kombinaci se standardními výukovými postupy, by měl v praxi postupovat lépe než uživatel, který využije pouze jednu ze zmíněných možností. V případě praktické části pro tuto bakalářskou práci je tedy záhodno pilotům ve výcviku poskytnout standardní výukové materiály v kombinaci s VR. Zároveň tento výzkum také nastínil možnost hodnocení letu. Pokud bude dostupné potřebné vybavení pro sběr dat, můžeme porovnávat piloty, kteří využili VR a kteří ne, podle získaných dat jako je výška, data o poloze (určení dráhy lety nebo tvaru okruhu) a rychlosti (zapotřebí je indikovaná rychlost IAS, jelikož pozemní rychlost GS se mění podle rychlosti a směru větru).

1.3. Technologie

Virtuální realita je technologie, pomocí níž je uživateli simulováno reálné anebo uměle vytvořené prostředí. Pro vytvoření takovéto iluze je potřeba použít vhodný hardware a software, pomocí čehož je v určitých případech dosaženo i možné interakce s prostředím. George Coates definoval v roce 1992, cit. Steurem (1992, str. 74) virtuální realitu takto: „*Virtual Reality is electronic simulations of environments experienced via head mounted eye goggles and wired clothing enabling the end user to interact in realistic three-dimensional situations.*“ [16].

Jako první krok se musí vytvořit virtuální svět. Může to být kopie reálného světa nebo upraveného, popřípadě vymyšleného. K tomu může dojít vymodelováním pomocí určitého softwaru nebo natočením VR videa [17, 18, 19]. Jedním z mnoha přínosných prvků, v souvislosti s výukou nebo s demonstrací určité činnosti, je možnost zvýraznění či vizualizace úkonu nebo fyzikálního jevu atd. Jako příklad je možné uvést, v souvislosti s letectvím, obtékání profilu křídla okolním vzduchem nebo pohyb pákou přípusti v určitý okamžik.

Když se vytváří interaktivní VR, je požadavkem, aby byla reálná v čase. To znamená, že při provedení úkonu nebo pohybu ve VR by měla být reakce prostředí okamžitá, tudíž by VR neměla mít časovou prodlevu. Na tomto faktoru je pak závislá míra imerze uživatele [20].

Hardware pak zprostředkovává interakci mezi uživatelem a prostředím. Jedná se například o VR brýle, VR headset, ovladače, datové rukavice, nebo 3D myš.

Z tohoto popisu si pak můžeme odvodit vlastní definici VR. Můžeme o VR mluvit jako o uměle vytvořeném prostředí, které dává uživateli iluzi reálného nebo upraveného světa s možností

přidání prvků. Pokud se jedná o simulátor reality, je cílem, aby ve VR platily fyzikální zákony [19]. V případě počítačových her to není nutností.

Mimo virtuální realitu existuje také rozšířená realita, pro kterou se používá zkratka AR (Augmented reality). Tyto dvě podobné technologie se liší v tom, jaké prostředí vytvářejí pro uživatele. Jak je zmíněno v předchozím odstavci, virtuální realita vytváří simulované prostředí (reálné nebo smyšlené). Uživatel se v takovémto prostředí může nacházet v jakémkoliv čase a prostředí díky vhodnému hardwaru. Rozšířená realita však funguje na principu implementace virtuálních prvků do reálného světa, ve kterém se uživatel nachází [21]. Pro rozšířenou realitu je také nutné použít příslušný hardware.

Jako příklad hardwaru pro rozšířenou realitu je možné uvést Google Glass. Jedná se o brýle, které promítají uživateli požadovanou aplikaci do jeho zorného pole. V praxi je tedy brýle možné použít například při řízení auta jako navigaci. Poslední řada těchto brýlí, Glass Enterprise Edition 2 (Obrázek 1.4), promítá obraz aplikací ze zařízení s operačním systémem Android přes Bluetooth 5.0. Rozlišení obrazu je 640x360 pixelů, má vlastní mikrophon, reproduktor a inerční sensory a váží 46 gramů [22]. Google Glass je možné využít ve všeobecném letectví k indikaci okolního provozu [23].



Obrázek 1.4 V levé části (A) jsou na obrázku Glass Enterprise Edition 2 [22]. V pravé části (B) je HUD na letounu Boeing 787 [36].

V letectví je rozšířená realita také využívána. Konkrétně se jedná o HUD neboli Head-Up Display (Obrázek 1.4). Tato technologie zobrazuje pilotovi důležité parametry letu, kterými jsou rychlost, výška, směr, umělý horizont a další. Tyto údaje jsou promítány na průhledný displej, který si v potřebných fázích letu pilot může sklopit před sebe [24, 25]. Jedná se hlavně o fáze odletu, přiblížení a přistání. V těchto uvedených fázích pilot, bez využití HUD, musí rozdělit



pozornost mezi přístroje a výhled z kabiny. Díky průhlednému displeji s informacemi, které jsou v těchto fázích letu monitorovány, nemusí pilot přenášet pozornost mezi výhledem z kokpitu a pohledem na přístroje uvnitř, neboť může koukat ven přes HUD, kde má zobrazené příslušné informace. I přes to, že se Head-Up Displeje využívají především v letadlech určených pro obchodní a business dopravu a pro vojenské účely, je možné se setkat se zařízeními pracujícími na principu HUD i mimo letectví, například v osobních automobilech [26].

Jak již bylo zmíněno výše, VR vytváří na rozdíl od rozšířené reality virtuální prostředí. VR lze rozdělit podle různých kritérií. Podle účasti uživatele můžeme VR rozdělit dle autora Violante et al. [27] do tří stupňů, podle úrovně účasti uživatele:

Pasivní – Uživatel nijak nezasahuje do VR, a tudíž je pouze divákem. Jako příklad lze uvést četbu knihy nebo sledování filmu.

Aktivní – Uživatel nemůže měnit prostředí, ale může se ve VR pohybovat nebo si zvolit, kam se dívá. Tento stupeň VR je využit v praktické části této práce, kdy uživatel bude mít k dispozici headset s prostředím, které bude simulovat letovou úlohu nebo její část.

Interaktivní – Uživatel může ovlivnit virtuální prostředí. Může se například dotýkat předmětů nebo s nimi přímo pracovat. Jako příklad by se dal uvést, v kontextu s letectvím, virtuální kokpit, který by sloužil k nácviku postupů. Uživatel by podle dané situace provedl požadované úkony podle checklistů.

1.4. Hardware a systémy VR

V návaznosti na rozdělení virtuální reality, které bylo zmíněno, můžeme rozdělit také hardware potřebný k jejímu využití. Hardware tedy lze takto rozdělit podle úrovně imerze do několika skupin.

První skupinou jsou zařízení, která nejsou imerzní. To znamená, že uživateli není umožněno jakkoliv interagovat s vytvořenou realitou. Do této skupiny je možné zařadit hardware jako je televize, monitor, projektor a další. Pro účely této práce je přípustné využít tento typ hardwaru. Absence alespoň minimální míry imerze společně s dalšími faktory, jako je například možnost věnovat se jiným aktivitám během promítání, však bude mít ve výsledku negativní vliv na výstupní data této práce. Dalším důvodem pro zavrnutí použití takového hardwaru je již existence videí podobného charakteru na internetu. Zároveň také existují studie dokazující, že uživatel při použití zařízení s větším stupněm imerze, ve srovnání s uživatelem, kterému bylo poskytnuto zařízení s menší mírou imerze, vykazuje lepší výsledky při vykonávání zamýšlené činnosti (viz Kapitola 1.2.).

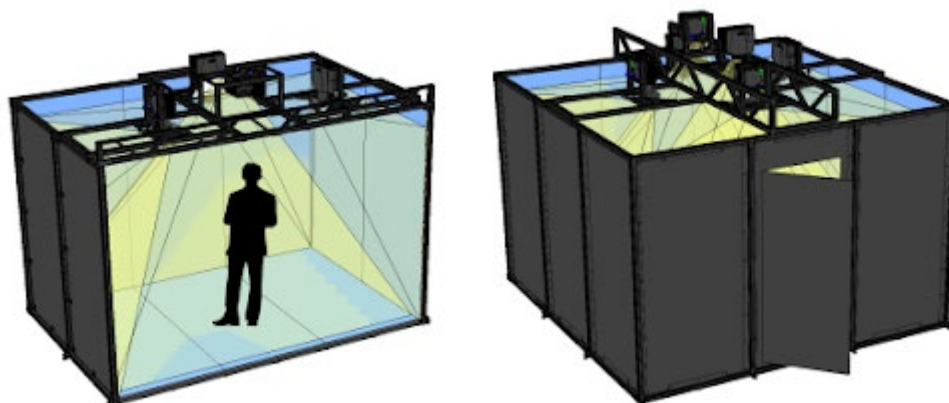
V další skupině jsou zařízení, která jsou částečně imerzní, tedy zařízení, která umožní uživateli částečně interagovat s prostředím.

Powerwall – Je velké plátno, na které je promítán obraz pomocí jednoho nebo více projektorů. Čím více projektorů je použito, tím je obraz lepší. Uživatel pak pro interakci s prostředím využívá brýle se senzory, pomocí kterých kamery mapují pohyb uživatele.

Brýle a HMD (Head Mounted Display) – Hardware zajišťující zobrazení virtuální reality pomocí displeje, který uživateli zakrývá většinu nebo celé jeho zorné pole [28]. Tato zařízení můžeme rozdělit na brýle a HMD. V této skupině se jedná o samostatné HMD bez využití dalších ovladačů. HMD je rozebráno více v následující skupině. Brýlemi se pak rozumí zařízení, které slouží k vložení dalšího zařízení s displejem, na kterém je virtuální realita promítána. Podle této definice je to tedy aparát, do kterého můžeme vložit mobilní telefon, na němž je promítána virtuální realita.

Do poslední skupiny pak patří zařízení, která jsou plně imerzní.

CAVE (Cave Automated Virtual Environment) – Jedná se o místnost ve tvaru krychle, jejíž strany jsou tvořeny plátnem (Obrázek 1.5). VR se promítá na všech 6 stran krychle, čímž je uživateli vyvolán pocit virtuální místnosti [29]. Toto zařízení se může využít například pro vizualizace interiérů staveb. V kombinaci s různými objekty může tento systém být využit i jako simulátor dopravního prostředku.



Obrázek 1.5 Princip funkce CAVE [37].

HMD – nebo také VR headset je zařízení, které si uživatel nasadí na hlavu. Aby HMD bylo považováno za plně imerzní zařízení, tedy aby docházelo k interakci uživatele s prostředím, musí být k dispozici zároveň i ovladače. Jako senzory jsou u HMD použity magnetometry,



akcelerátory a gyroskopy [28, 30]. Hlavní parametry, které rozhodují o kvalitě HMD, jsou snímková frekvence (minimálně 60 fps), rozlišení (jedné nebo dvou obrazovek), zorné pole (mezi 90° a 110°) a latence (ideálně menší než 20 ms). Součástí HMD jsou i sluchátka. U některých typů lze použít vlastní sluchátka. V některých případech se HMD prodává bez ovladače, proto je nutné ovladače dokoupit zvlášť, pokud je vyžadováno použít HMD jako plně imerzní zařízení.

HMD může být také využito jako HUD displej. Rozdíl oproti HUD s využitím AR je v zprostředkování obrazu [31]. Jak již bylo uvedeno, pilot používající HUD má ve svém zorném poli displej s informacemi a reálný obraz výhledu z kabiny. V případě HUD s využitím HMD pak pilot má v zorném poli pouze displej, na kterém je promítán výhled z kabiny a letové údaje.

Mezi HMD patří Oculus Quest, lepší HTC Vive Cosmos, které jsou porovnané v tabulce 1.2. Dalšími zařízeními jsou HTC Vive Pro, Oculus Rift, HP Reverb G2 a další.

Tabulka 1.2 Přehled dostupných HMD

	Oculus Quest	HTC Vive Cosmos
Cena	Od 12 690 Kč	Od 14 980 Kč
Obnovovací frekvence	72 Hz	90 Hz
Zorné pole	100°	110°
RAM	4 GB	4 GB a více
Rozlišení (pro jedno oko)	1440 x 1600 Pixelů	1440 x 1700 Pixelů
Procesor	Qualcomm Snapdragon 835	IntelCore i5-4590 nebo AMD FX8350

V letectví se již využívá virtuální reality pro výcvik pilotů, avšak v pokročilých fázích výcviku. Dostupná zařízení jsou souhrnně označena jako FSTD (Flight Simulation Training Device). FSTD můžeme dělit na podskupiny jako FNPT (Flight Navigation Procedures Trainer), FFS (Full Flight Simulator), FTD (Flight Training Device) a další. Požadavky na letové simulátory a jejich využití pro jednotlivé části výcviku jsou specifikovány v dokumentu ICAO Doc. 9625, viz [32].

Simulátor FNPT (Obrázek 1.6) se používá pro nácvik navigačních postupů [32]. Jelikož pilot může interagovat s vytvořeným virtuálním prostředím, tak se tento simulátor řadí do skupiny plně imerzních zařízení. V praxi se FNPT používá pro základní i pokročilou fázi letů podle

přístrojů (Instrument Time a IFR) nebo pro kurz součinnost vícečlenné posádky (MCC). FNPT nemusí být pohyblivý simulátor a jeho součástí je plátno, na které je promítán výhled z kabiny, kabina pro pilota a ovládací panely pro nastavení podmínek letu. Mezi jeho výhody patří nízká hodinová cena pro uživatele. Jelikož se však jedná o simulátor určený pro nácvik navigačních postupů, tak toto zařízení není vhodné pro nácviky postupů nebo simulaci letu VFR.



Obrázek 1.6 Simulátor Mechtronix FNPT II na letišti v Benešově (LKBE).

Dalším typem je plně pohyblivý letecký simulátor (Obrázek 1.7), tzv. Full Flight Simulator (FFS), který je zobrazen na obrázku 7 [32]. Stejně jako simulátor FNPT je FFS plně imerzní zařízení. FFS simuluje realitu věrněji než FNPT. To je způsobeno pohyby celého simulátoru v závislosti na řízení letounu, jelikož musí být pohyblivý ve třech osách, a také lepší technikou promítání obrazu, jelikož jsou zde použity kolimované zobrazovací systémy, díky kterým je obraz, který vidí pilot sedící vlevo stejný jako obraz, jenž vidí pilot sedící vpravo. V praxi se tyto simulátory používají hlavně pro typové výcviky. Nevýhodou FFS je vysoká pořizovací a zároveň i hodinová cena pro uživatele.



Obrázek 1.7 Plně pohyblivý letecký simulátor FFS pro Boeing 737NG [38].

1.5. Software a principy VR

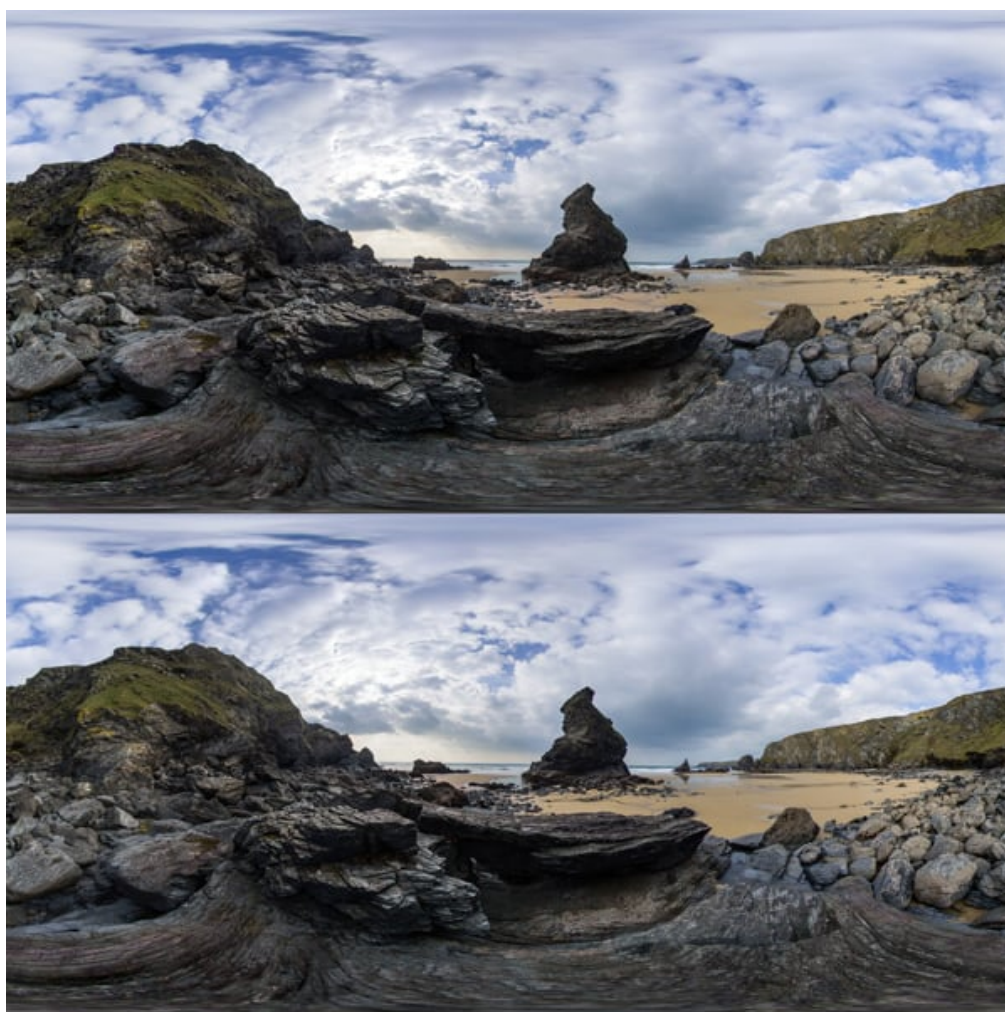
Software pro tvorbu a zpracování virtuální reality můžeme dělit podle druhu virtuální reality, pro kterou je software určen. Pokud bude cílem vytvořit virtuální interiér budovy, například pro účel prezentace nemovitosti, je možné využít aplikace pracující na principu složení virtuálního prostředí z více fotografií, a to z jednotlivých snímků nebo 360° snímků. V tomto případě je k dispozici zpravidla pouze pohled z jednoho místa, popřípadě série pohledů z více jednotlivých míst. Mezi takovéto software patří aplikace Orbix360, Theasys a další. Pro zpracování 360° videí, do kterých nejsou vkládány další prvky virtuální reality, se využívají aplikace jako Adobe Premiere Pro nebo Final Cut Pro X, které se používají jak pro editaci 2D videa, tak i pro editaci 3D videa. Pro vložení virtuálních prvků do videa můžeme použít programy jako Adobe After Effects, Blender nebo Wax.

V případě, že je potřeba vytvořit fiktivní virtuální prostředí, například vizualizaci neexistujícího objektu nebo tvorbu prostředí počítačové hry, je nutné pracovat se složitějším softwarem. Mezi nejpoužívanější patří Unity 3D a Unreal Engine. Pomocí takového softwaru je možné zpracovat i videa, do kterých jsou vkládány prvky virtuální reality (3D objekty).

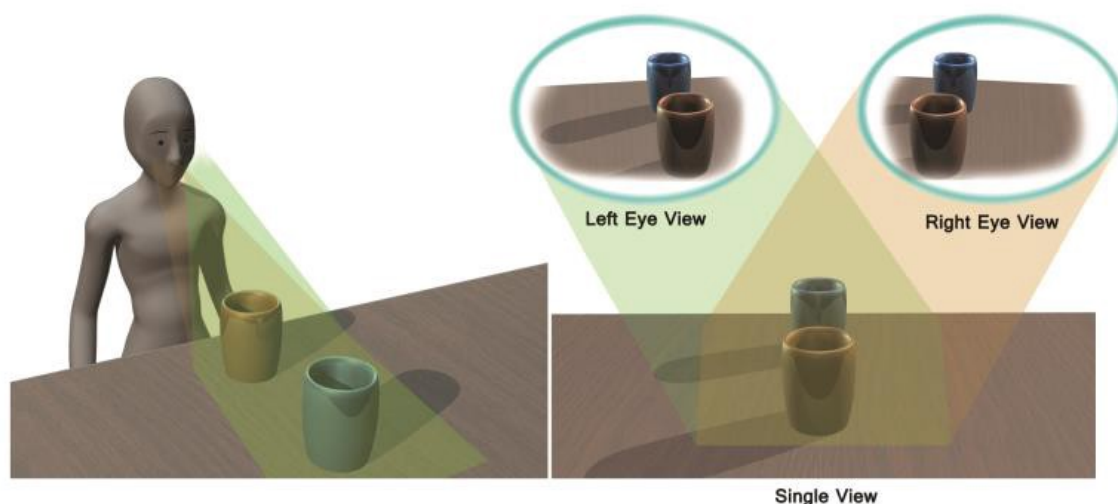
VR video lze dělit na monoskopické a stereoskopické [33, 34]. Monoskopické VR video funguje tak, že uživateli je promítán jeden 2D obraz na plochu kolem něj. Rozlišení monoskopického VR videa je 2:1. To znamená například 4096x2048. Mezi jeho výhody patří nižší cena než v případě stereoskopického VR videa a nižší cena potřebného hardwaru (není nutné využít VR headsetu), avšak vyšší rozlišení. Tento typ videa se používá, pokud jsou postavy ve větší

vzdálenosti nebo pokud se natáčí větší množství dynamického pohybu (koncerty sportovní utkání, let letadla).

Stereoskopické VR video na rozdíl od monoskopického VR videa obsahuje 2 kanály. Jeden je pro pravé oko a druhý pro levé oko, jak je znázorněno na obrázku 1.8. Tím, že každé oko vidí obraz z odlišného úhlu, se vytváří pro uživatele hloubka obrazu, jako v případě člověka na obrázku 1.9. Tvorba tohoto typu videa je finančně náročnější a vyžaduje zároveň lepší a dražší vybavení pro jeho následnou projekci. Jeho rozlišení je pak 1:1, například 5120x5120. Zároveň není vhodné tento typ videa používat pro natáčení většího množství pohybu. Výhodou je pak více reálné prostředí a větší míra imerze.



Obrázek 1.8 Příklad produkce stereoskopického videa pro pravé (nahore) a levé (dole) oko zvlášť [39].



Obrázek 1.9 Znárodnění pohledu levého a pravého oka [40].

1.6. Shrnutí

Cílem praktické části této práce je vytvoření a implementace virtuální reality do počátečních fází pilotního výcviku. Konkrétně se bude jednat o první fázi integrovaného výcviku ATPL a výcviku PPL se zaměřením na úlohy zahrnující lety po okruhu, doplněné o nestandardní a nouzové scénáře. Tyto vzniklé materiály, rozšiřující výcvik, budou poskytnuty studentům v jejich pilotním výcviku.

Pro potřeby této práce bude využito aktivního stupně VR spolu s částečně imerzním zařízením.

Na základě poznatků získaných z již provedených pokusů budou, pro testování užitečnosti virtuální reality ve výcviku, participantí rozděleni do dvou skupin. Jedné skupině budou poskytnuty produkty praktické části ve formě virtuální reality v kombinaci se standardními výukovými postupy. Druhá skupina pak bude mít k dispozici pouze dosud používané učební materiály. Na závěr budou výsledky jednotlivých pilotů vyhodnoceny pomocí získaných dat a na základě hodnocení instruktorů.

Tato data by měla prokázat, zda je implementace VR do výcviku přínosná. Od vzniklých materiálů ve VR se v první řadě očekává rozšíření a zdokonalení teoretické přípravy v rámci praktického výcviku, což by mělo vést k lepšímu provedení samotného letu. Nadále tyto materiály mohou přispět i k větší bezpečnosti provozu na letišti Benešov.



2. Materiály a metodika

2.1. Návrh experimentu

Experiment, který je součástí této práce, má za cíl vytvořit virtuální realitu pro počáteční fáze výcviku pilotů. V této fázi je velmi důležité, aby pilot, který je v počátku svého výcviku, měl jasnou představu, co se od něj bude v rámci předepsaných úloh očekávat v kokpitu. Na základě dostupných informací je možné tvrdit, že pokud bude studentovi poskytnuto médium, které poskytne vizualizaci dané činnosti, pak by takový student měl vykazovat lepší výkon při provádění dané činnosti ve srovnání se studenty, kterým takové materiály poskytnuty nebudou. Ideálním médiem je pak právě virtuální realita. Studentovi je díky VR možné promítnout přesně danou úlohu, a tudíž bude jasné, na co se pilot bude muset připravit.

Motivací k provedení tohoto experimentu je zlepšení výkonu pilotů ve výcviku v úlohách, pro které bude experiment proveden, a tudíž zvýšení bezpečnosti. Další výhody pro studenty pak mohou být například snížení ceny za výcvik, jelikož pokud bude, za pomoci VR, pilot lépe připraven na zalétnutí dané úlohy, pak se může teoreticky snížit anebo zcela odpadnout potřeba přelétávat čas vyhrazený pro splnění úlohy.

Experiment, který budeme v rámci této bakalářské práce provádět, by měl zároveň objasnit využitelnost virtuální reality ve výcviku pilota. Postup a provedení experimentu bude vycházet z poznatků získaných při přípravě teoretické části této práce, jež byly shrnuty v první kapitole – Analýza současného stavu.

Samotný experiment bude rozdělen do 2 částí. V první části budou zpracovány materiály ve formě virtuální reality, jež budou následně k dispozici pro zájemce. V druhé části experimentu bude pak výsledný produkt první části experimentu testován v praktické výcviku.

Existuje více forem virtuální reality, která může být implementována do praktického výcviku pilotů. Virtuální realita bude zpracována ve formě vytvoření 360° videa, které bude následně doplněno o prvky virtuální reality. Pro účely výcviku bude pak tento vzniklý materiál promítán účastníkům experimentu s využitím VR Headsetu.

Celý experiment bude podrobně rozebrán v následujících částech této kapitoly.

2.2. Subjekty

Experiment byl proveden ve spolupráci s leteckou školou F air a firmou icebreakers.cz. Letecká škola poskytla letadlo pro potřeby natáčení virtuální reality. Vzniklý materiál pak byl zpracován zástupcem firmy icebreakers.cz. Ve fázi testování pak budou dalšími subjekty testování piloti ve výcviku.



2.3. Experiment – 1. část

V první části experimentu bylo cílem natočit 360° videa, která budou následně zpracována a doplněna o virtuální prvky. Prvním krokem bylo provedení zkušebního letu ještě před zahájením natáčení videí, která budou použita jako finální produkt.

2.3.1. Zkušební let

Účelem zkušebního letu bylo zjistit, kam umístit kameru a jak ji nastavit. Zároveň toto zkušební natáčení mělo sloužit k odhalení možných limitací experimentu.

Zkušební let proběhl dne 10. července 2020 na letišti Brno-Tuřany (LKTB). Letadlo použité pro zkušební let bylo Tecnam P2002JF s registrační značkou OK-GPS. Jelikož se jednalo zatím pouze o zkoušku, bylo použito letadlo, které má analogové základní letové přístroje. Letadlo, které bude použito pro finální natočení videí, bude mít tyto přístroje integrované na displejích.

První část zkoušky trvala zhruba 30 minut a probíhala na zemi, konkrétně na stojánci střed, kde se testovalo umístění a nastavení VR kamery. Hlavní otázkou bylo, čím kameru k letadlu přichytit. Tecnam P2002JF je dolnoplošník s prosklenou kabinou, tudíž se zvolilo umístění kamery vpravo od hlavy pilota. Pro uchycení ke stropu kabiny byla využita přísavka na sklo.

V druhé části zkušebního letu se pak VR kamera testovala za letu (Obrázek 2.1). Tato část trvala 31 minut blokového času (od nahození motoru po vypnutí motoru), z toho 20 minut za letu (od vzletu do přistání). Kamera byla zapnuta krátce před udělením povolení ke vzletu a vypnuta po uvolnění dráhy po přistání. Samotný let probíhal tak, že byly provedeny 2 pravé okruhy na dráhu 27. Po prvním okruhu bylo provedeno letmé přistání a vzlet (touch and go) a po druhém okruhu plné přistání.

Výsledkem zkušebního letu bylo nalezení vhodného umístění pro VR kameru a také zjištění, že vibrace motoru by neměly mít vliv na natáčení. Zároveň se však zjistilo, že displej s GPS byl moc tmavý, což by se mělo v konečné verzi opravit zesvětlením dané části palubní desky. Dalším problémem, který vyvstal během zkušebního letu, bylo přehřívání kamery a následné vypínání v případě, že teplota vzduchu v kabině byla příliš vysoká. Toto mohlo být také způsobeno slunečním zářením působícím přímo na kameru umístěnou na horní straně kokpitu. Pro řešení tohoto problému může být využito objektů k zastínění kamery (papír, stínítka) nebo natáčení pod mrakem a za nižších teplot, jelikož se předpokládá, že hlavním důvodem přehřívání byla vysoká teplota v kabině, která měla daleko větší vliv na přehřívání než přímé sluneční záření.



Obrázek 2.1 Snímek vystřižený z 360° videa natáčeném při zkušebním letu Brně. Palubní deska Tecnamu P2002JF registrace OK-GPS ve třetí okružové zatáčce jižního okruhu letiště Brna (LKTB).

2.3.2. Natáčení 360° videa

Natáčení 360° videa, jež bude po zpracování a doplnění o virtuální prvky použito jako finální produkt, se uskutečnilo 31.3.2021. Natáčelo se na letišti Benešov (LKBE), a to z toho důvodu, aby výsledek, který bude v 2. části experimentu prezentován pilotům ve výcviku, byl vytvořen přímo pro výcvik v Benešově. Největším problémem, kvůli kterému bylo natáčení několikrát odloženo, bylo počasí.

Ve středu 31.3. bylo počasí ideální, což indikoval i METAR vydaný pro letiště Praha (LKPR), pod jehož TMA leží letiště Benešov (LKBE): „LKPR 311200Z VRB03KT CAVOK 21/02 Q1024 NOSIG.“ To znamená, že v daný den ve 12 hodin UTC, tedy 14 hodin místního času byl na letišti v Praze proměnlivý vítr o rychlosti 3 uzly za hodinu, což je zhruba 5,5 km/h. CAVOK symbolizuje dohlednost vyšší než 10 km, základna mraku nebyla nižší než 5000 ft. Teplota byla 21 °C a rosný bod 2 °C, tlak přepočítaný na hladinu moře (QNH) byl 1024 hPa a oblast letiště byl bez význačného počasí.

Pro natáčení byl zvolen letoun Tecnam P2002JF, což je stejný typ letadla, ve kterém byl proveden zkušební let. Registrace letadla byla OK-ATZ (Obrázek 2.2), jež je vybaveno přístroji Garmin G500 a GNS400W (Obrázek 2.3) namísto analogových přístrojů.



Obrázek 2.2 Letadlo Tecnam P2002JF registrace OK-ATZ použité pro natáčení 360° videa.



Obrázek 2.3 palubní deska letadla Tecnam P2002JF. Na levé straně před sedačkou pilota je na palubní desce Garmin G500 a na prostředku palubní desky je pak Garmin GNS400W společně s panely pro nastavení rádia a odpovídače módu S.

Pro účely natáčení byly uskutečněny 4 lety. Během první letu se natáčely okruhy na dráhu 24. Z toho letu však nebyl vytvořený záznam použit, jednalo se tedy spíše o testovací let. Druhý let byl proto věnován opět okruhům na dráhu 24 a zároveň byly natáčeny i okruhy na dráhu 06. Při třetím letu se dokončilo natáčení okruhů na dráhu 06 a následně se pokračovalo úlohami, které jsou ve výcviku cvičeny mimo vzdušný prostor letiště. Jednalo se zábrany pádů, spirály a vývrtky, dále nouzová přistání do terénu, bezpečností přistání a další úlohy. V těchto úlohách se pokračovalo i během posledního letu, který byl zakončen opět manévry, které se během výcviku cvičí v ATZ letiště. Jednalo se o manévry jako postup při vysokém podrovnání, odskoku nebo vysazení motoru při letu na okruhu. Celkový čas letu potřebného pro natočení všech 4 letů byl 2 hodiny 20 minut a celý záznam, znázorněný pomocí aplikace Google Earth, je na Obrázku 2.4.



Obrázek 2.4 Vizualizace pohybů letadla Tecnam P2002JF registrace OK-ATZ ze dne 31. 3. 2021 pomocí aplikace Google Earth.

Pro natáčení byla zvolena kamera GoPro Fusion (Obrázek 2.5). Parametry kamery jsou vypsány v tabulce 2.1. Kamera byla pomocí přísavky umístěna na horní část kabiny a posunuta směrem doleva od středu (Obrázek 2.5). Po zkušenostech ze zkušebního letu byla preventivně prodloužena výdrž baterie kontinuálním dobíjením kamery z 12V zásuvky během letu. Komplikace spojené s přehříváním kamery se opět objevily při natáčení. Tentokrát však k samovolnému vypínání kamery již nedocházelo tak často, jelikož byl kryt kabiny během

pojíždění na zemi otevřený. K zavření kabiny došlo až těsně před vzletem, tudíž nedošlo k výrazné akumulaci tepla v kabině. Za letu již byl vnitřek letadla chlazen.



Obrázek 2.5 Vlevo (A) pohled na zavřenou kabinu letadla Tecnam P2002JF registrace OK-ATZ s připevněnou kamerou GoPro Fusion na horní straně kabiny. Vpravo (B) uchycení kamery GoPro Fusion pro účely natáčení v letadle Tecnam P2002JF včetně napájecího kabelu vedoucího z 12V zásuvky v pravé dolní části palubní desky ke kameře.

Tabulka 2.1 Parametry kamery GoPro Fusion.

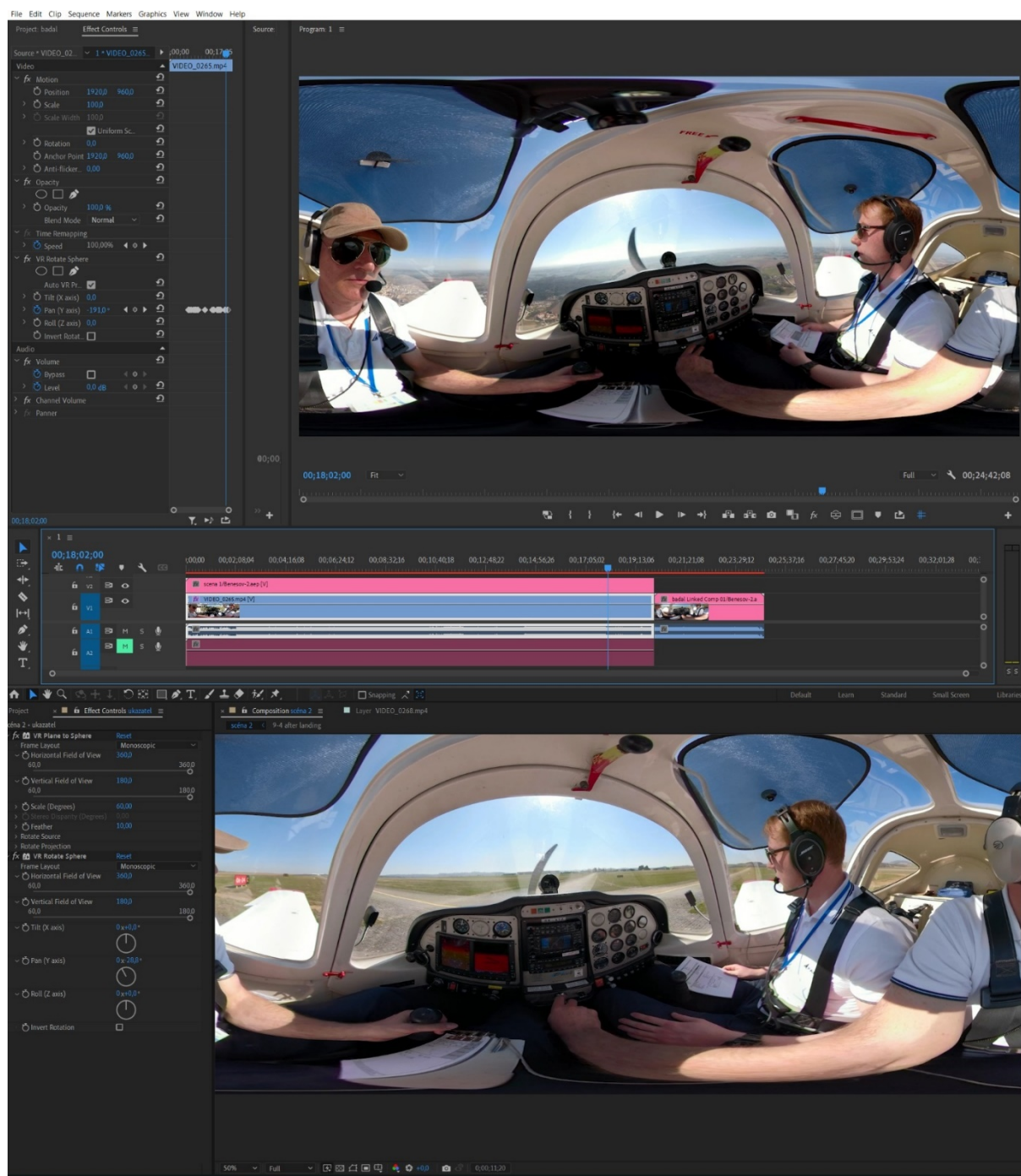
Typ snímače	CMOS
Rozlišení snímače	18MPx
Typ	Sférický (360°)
Maximální rozlišení	4K, Full HD
Maximální snímková frekvence	60 snímků/s
Kapacita baterie	2620 mAh
Hmotnost	108,3 g

2.3.3. Zpracování videa

Z pořízených záběrů se pro účely této práce zpracovávala pouze videa zachycující okruhy na dráhu 24. Toto výsledné video pak bylo doplněno o virtuální prvky, na rozdíl od dalších videí, jelikož bude sloužit pro hodnocení přínosu VR do výcviku.

Pro střih videa byl použit program Adobe Premiere Pro (obrázek 2.6). Okruh na dráhu byl natočen během druhého natáčení a jelikož každý let byl natáčen v celku bez vyjetí z dráhy po každém přistání, tak pro demonstraci postupů po přistání byl k okruhu přidán až konec druhého natáčení.

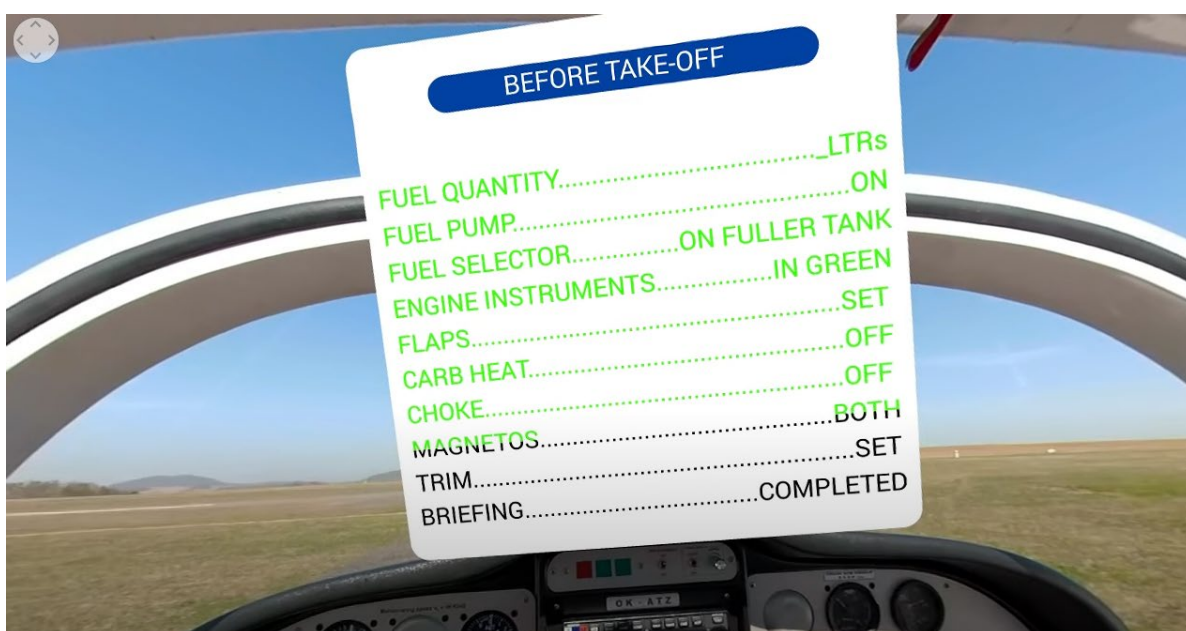
Virtuální prvky do videa byly doplněny v programu Adobe After Effects (Obrázek 17). Každý prvek se doplňoval jednotlivě podle aktuálně platného QRH pro letadlo Tecnam P2002JF v souladu s postupy letecké školy F air.



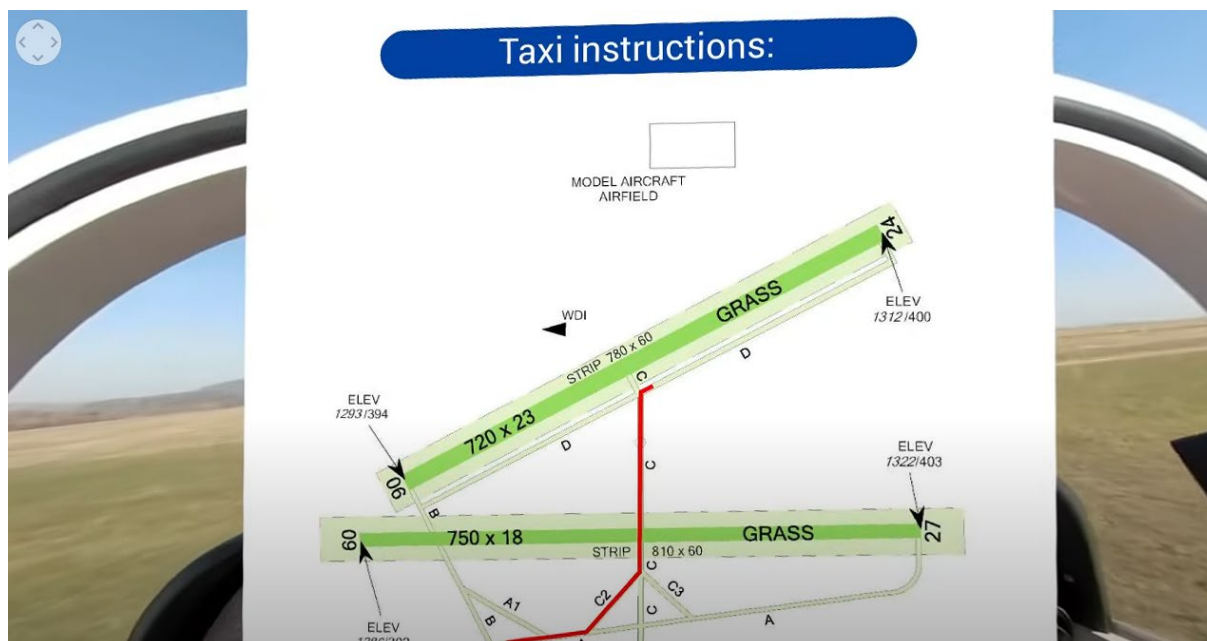
Obrázek 2.6 úprava videa pomocí programů Adobe Premiere a Adobe After Effects.

2.3.4. Výsledek 1. části experimentu

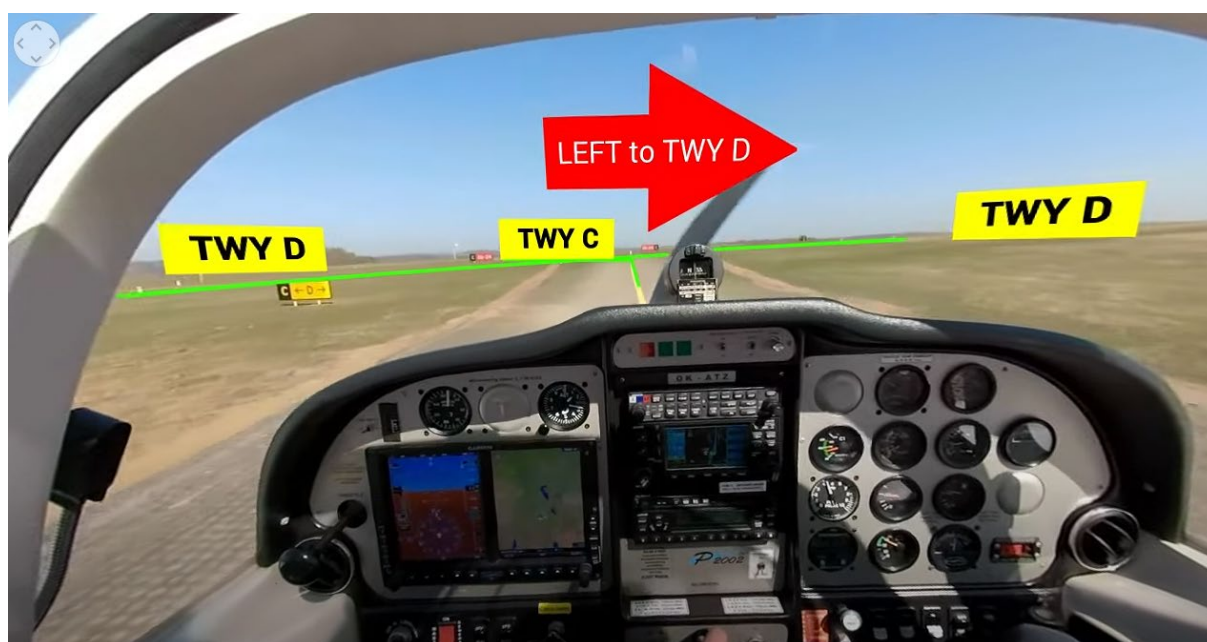
Výsledkem je 360° video natočené z pohledu pilota sedícího v levé sedačce, což odpovídá potřebám pro výcvik, doplněné o prvky virtuální reality. Těmi prvky jsou zvýrazněné postupy v souladu s provozními příručkami letecké školy F air (obrázek 2.10), checklisty (obrázek 2.7), vyznačené význačné vizuální body na okruhu nebo animace užitečné pro pohyb na letišti a ve vzduchu (obrázek 2.8 a 2.9). Toto video pak bude pro účely 2. části experimentu nahráno do VR headsetu, ve kterém bude testováním subjektům promítáno.



Obrázek 2.7 Before Take-Off Checklist, který se provádí před vstupem na dráhu. Jednotlivé položky na checklistu postupně zelenají. Zelená položka znamená, že daný úkon byl již proveden.



Obrázek 2.8 Animace sloužící pilotovi lépe se orientovat odkud, kam a kudy pojezdí. Pro tento účel byla použita oficiální mapa letiště Benešov (LKBE) a ta byla doplněna o červenou čáru, která se postupně vykresluje a značí, kudy se letadlo bude pohybovat po cestě na vyčkávací místo dráhy 24.



Obrázek 2.9 Pohled, který má pilot ve VR headsetu během poježdění. Červená šipka obsahuje informace o změně směru poježdění. Žluté rámečky s popisky pak symbolizují poježděcí dráhy C a D. Zelené čáry znázorňují středové čáry poježděcích drah.



Obrázek 2.10 Letadlo se nachází v poloze na finále na pravém okruhu dráhy 24 v Benešově (LKBE). Za pomoci virtuální reality je zde vyznačen úkon pro kontrolu rychlosti v pole na finále a zároveň je zde vyznačena dráha 24 pro lepší orientaci.

2.4. Experiment – 2. část

V druhé části experimentu bude výsledný produkt první části testován jako součást pozemní přípravy před úlohou, kde se cvičí let po okruhu. Hodnocení, zda má virtuální realita přínos pro výcvik, bude vycházet z odpovědí na dotazníky od pilotů ve výcviku, kteří tyto materiály k dispozici měli, i těch, kteří je nepoužili.

2.4.1. Použité zařízení a metody hodnocení

Metoda pro hodnocení přínosu virtuální reality pro výcvik pilotů zahrnovala hodnocení dvou skupin pilotů. Obě skupiny se skládaly z pilotů ve výcviku, kteří byli ve fázi před zahájením letů na okruhu. První skupina pilotů, SKUPINA A, měla v rámci pozemní přípravy na let k dispozici virtuální realitu a druhá skupina, SKUPINA B, možnost využít virtuální realitu neměla. Hodnocení pak bylo provedeno podle dat získaných z dotazníků a hodnocení instruktora. Dotazníky pro první a druhou skupinu pilotů ve výcviku se lišily skladbou otázek, jelikož skupina využívající virtuální realitu, tedy skupina A, zodpovídala navíc otázky vztažené přímo k používanému hardwaru. K dotazníkům pilotů skupiny B, která neměla k dispozici v rámci pozemní přípravy virtuální realitu, byly přidány odpovědi dalších pilotů, kteří nebyli hodnoceni instruktory a nebyli v požadované fázi, z důvodu získání většího množství dat. Oba dotazníky jsou přílohou této práce.

Subjekty skupiny A byly nejdříve seznámeny s úlohou teoreticky v rámci pozemní přípravy. Po ukončení teoretické části jim byla poskytnuta virtuální realita. Následně piloti vyplnili dotazník a posledním krokem byl let v letadle.

Hardware použitý pro tento experiment byl pouze headset, které měl v interní paměti nahrané video, které sledovali piloti. Použitý headset byl Oculus Quest 2, zároveň zobrazený na obrázku 2.11, který obnovovací frekvenci displeje 90 Hz a je možné na něm spustit 8K video s 60 snímky za sekundu.



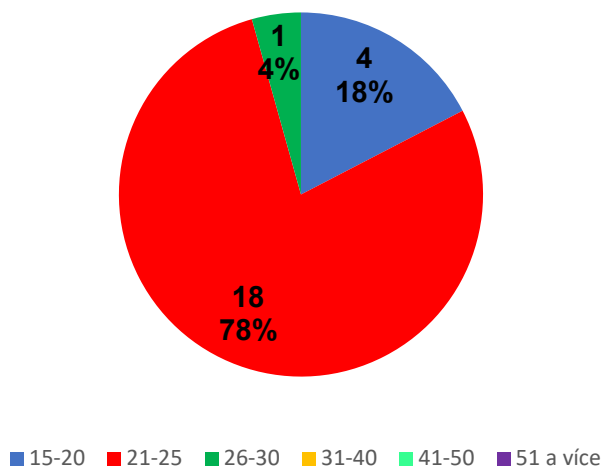
Obrázek 2.11 Headset Oculus Quest 2 s ovladači

2.4.2. Kolekce dat

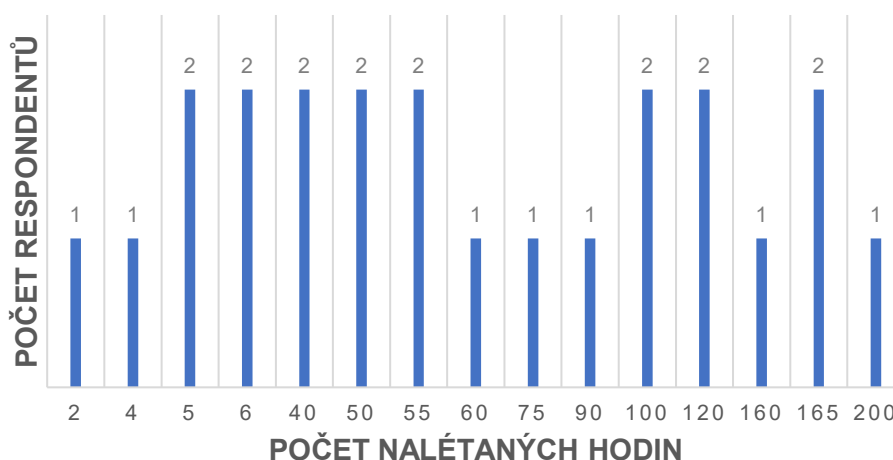
Data byla shromážděna pomocí Google Forms. Dotazníky se zaměřovaly na hodnocení přínosu virtuální reality ve výcviku podle dotazovaných subjektů. Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.4., piloti, kteří měli k dispozici virtuální realitu, tak měli v dotazníku otázky týkající se použitého hardwaru a zároveň měli možnost sdělit svá doporučení pro využití VR ve výcviku na základě jejich zkušenosti. Otázky v obou dotaznících zahrnovaly také sběr dat demografických ukazatelů.

3. Výsledky

Výzkumu se účastnili především respondenti ve věku 21 až 25 let. Jak již bylo zmíněno, dotazník vyplňovali piloti, kteří byli testováni ve fázi před úlohou, kde se cvičí okruhy, čemuž odpovídá nálet zhruba 5 hodin a zároveň respondenti s více hodinami, kteří odpovídali pouze na druhý dotazník. Celková statistika věku a počtu nalétaných hodin respondentů z obou dotazníků je graficky prezentována na obrázcích 3.1 a 3.2. Ve všech prezentovaných výšečových grafech je vždy horní číslo v grafu absolutní hodnota respondentů a spodní hodnota je jejich procentuální zastoupení u dané odpovědi.



Obrázek 3.1 Věkové rozložení respondentů obou dotazníků

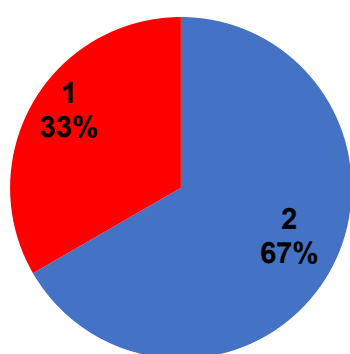


Obrázek 3.2 Rozložení respondentů na základě nalétaných hodin z obou skupin. Vlevo jsou vidět sloupce s nízkým náletem, což zobrazuje porovnávané piloty.

Dotazník pro piloty, kteří využili ve výcviku virtuální realitu, a tedy patřili do skupiny A, vyplnily všechny testované subjekty, tedy 3 piloti. Dotazník pro piloty, kteří neměli k dispozici virtuální realitu v rámci daná úlohy, a tedy patřili do skupiny B, vyplnily všechny testované subjekty, tedy 3 piloti a dále dalších 17 subjektů, kteří nebyli dále testováni. Celkový počet respondentů byl tedy 23. Otázky v dotazníku byly zodpovězeny následovně:

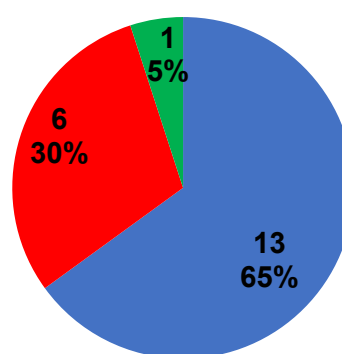
Otázka 1 - Mohla by být podle Vás VR ve výcviku pilotů přínosná?

(A)



■ ANO ■ Spíše ANO ■ Spíše NE ■ NE

(B)



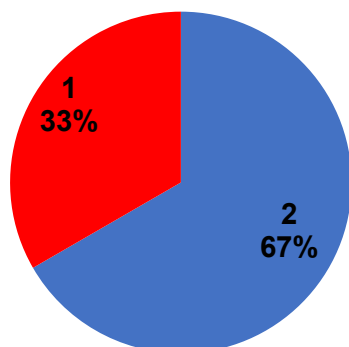
■ ANO ■ Spíše ANO ■ Spíše NE ■ NE

Obrázek 3.3 Odpovědi respondentů na první otázku dotazníku. V levé části (A) jsou odpovědi respondentů skupiny A a v pravé části (B) jsou odpovědi subjektů skupiny B.

Tato otázka byla položena hlavně z důvodu zjištění postoje respondentů k možnému využití virtuální reality. K tvrzení, že virtuální realita by mohla být ve výcviku přínosná, se přiklonila většina respondentů. Ze skupiny A na položenou otázku odpovědělo 67 % dotázaných „ANO“ a zbylých 33 % zvolilo „Spíše ANO“. U skupiny B bylo procentální zastoupení odpovědí podobné. Pro odpověď „ANO“ hlasovalo 65 % dotázaných, pro „Spíše ANO“ pak 30 %. U skupiny B se objevila i 1 odpověď „Spíše NE“. Grafické znázornění odpovědí respondentů je znázorněno na obrázku 3.3.

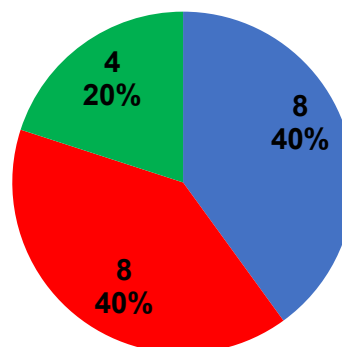
Otázka 2 - Myslíte si, že Vám VR pomůže nebo by Vám pomohla k lepšímu provedení letu?

(A)



■ ANO ■ Spíše ANO ■ Spíše NE ■ NE

(B)



■ ANO ■ Spíše ANO ■ Spíše NE ■ NE

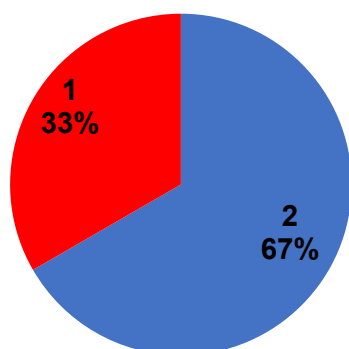
Obrázek 3.4 Odpovědi respondentů na druhou otázku dotazníku. V levé části (A) jsou odpovědi respondentů skupiny A a v pravé části (B) jsou odpovědi subjektů skupiny B.

U této otázky 67 % respondentů skupiny A zvolilo možnost „ANO“ a 33% možnosti „Spíše ANO“, což znamená, že všem subjektům skupiny A virtuální realita pomohla k lepšímu provedení letu. U skupiny B zvolilo 8 respondentů možnost „ANO“ a shodný počet odpovědí bylo také u možnosti „Spíše ANO“. A 4 dotázaní pak zvolili odpověď „Spíše NE“. Odpovědi respondentů obou skupin jsou prezentovány graficky na obrázku 3.4.

Otázka 3 - Myslíte si, že ve srovnání s klasickou pozemní přípravou by Vám VR pomohla lépe přiblížit, co se bude v dané úloze odehrávat? Za předpokladu, že jste absolvovali pozemní přípravu s VR, myslíte si, že Vám tato metoda pomohla? (obrázek 3.5)

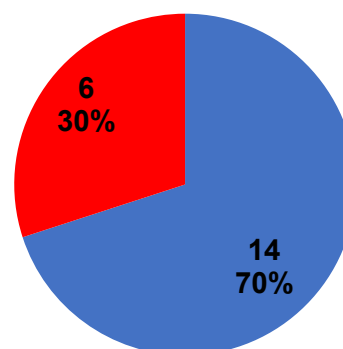
Respondentům skupiny A, tedy pilotům, kteří ji měli k dispozici v rámci pozemní přípravy, metoda aplikovaná v rámci experimentu pomohla. Tudíž 67 % pilotů odpovědělo na položenou otázku „ANO“ a 33 % „Spíše ANO“. Dotazované subjekty skupiny B se domnívají, že metoda aplikovaná u skupiny A by jim pomohla lépe přiblížit, co mají v dané úloze dělat. 14 respondentů skupiny B zvolilo odpověď „ANO“ a 6 respondentů „Spíše ANO“. Odpovědi všech dotazovaných pilotů jsou znázorněny graficky na obrázku 3.5.

(A)



■ ANO ■ Spíše ANO ■ Spíše NE ■ NE

(B)

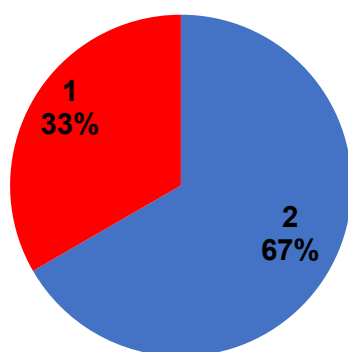


■ ANO ■ Spíše ANO ■ Spíše NE ■ NE

Obrázek 3.5 Odpovědi respondentů na třetí otázku dotazníku. V levé části (A) jsou odpovědi respondentů skupiny A a v pravé části (B) jsou odpovědi subjektů skupiny B.

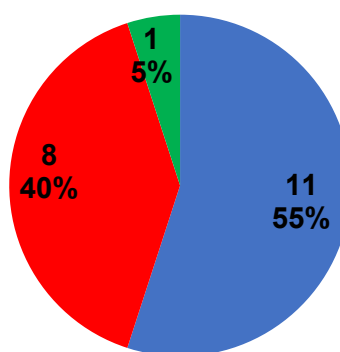
Otázka 4 - Myslíte si, že postupy a úkony, které jste se naučil/a při použití VR, nebo byste se naučil/a, pokud by Vám VR byla poskytnuta, bude možné převést do praxe?

(A)



■ ANO ■ Spíše ANO ■ Spíše NE ■ NE

(B)



■ ANO ■ Spíše ANO ■ Spíše NE ■ NE

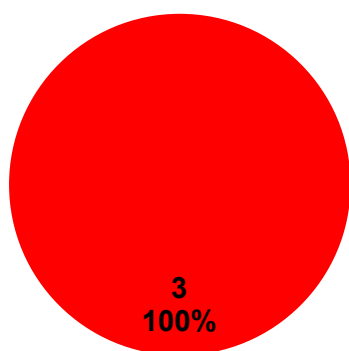
Obrázek 3.6 Odpovědi respondentů na čtvrtou otázku dotazníku. V levé části (A) jsou odpovědi respondentů skupiny A a v pravé části (B) jsou odpovědi subjektů skupiny B.

U 4. otázky si 67 % respondentů skupiny A myslí, že postupy a úkony, které se naučili při využití virtuální reality, dokážou aplikovat při letu v dané letové úloze. Zbýlých 33 % dotazovaných zvolilo odpověď „Spíše ANO“. Subjekty skupiny B odpověděly na zadanou

otázku „ANO“ v 11 případech, „Spíše ANO“ v 8 případech a jeden respondent zvolil odpověď „Spíše NE“. Výšečové grafy s odpověďmi jsou zobrazeny na obrázku 3.6.

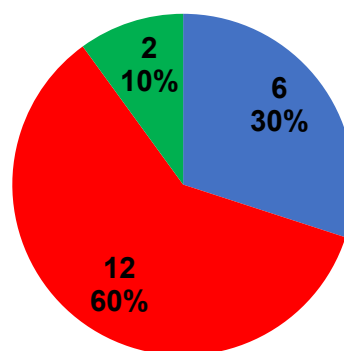
Otázka 5 - Budete se cítit, nebo cítil/a byste se po zkušenosti s VR sebejistěji při provedení letu?

(A)



■ ANO ■ Spíše ANO ■ Spíše NE ■ NE

(B)



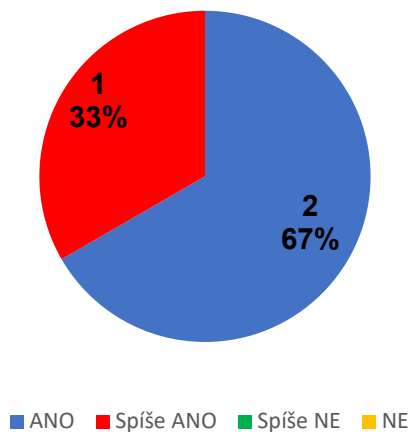
■ ANO ■ Spíše ANO ■ Spíše NE ■ NE

Obrázek 3.7 Odpovědi respondentů na pátou otázku dotazníku. V levé části (A) jsou odpovědi respondentů skupiny A a v pravé části (B) jsou odpovědi subjektů skupiny B.

Respondenti skupiny A se budou po zkušenosti s virtuální realitou spíše cítit sebejistěji při provedení letu. 60 % dotázaných pilotů skupiny B odpovědělo na tuto otázku stejně jako všichni piloti skupiny A, tedy „Spíše ANO“, 30 % zvolilo možnost „ANO“ a zbylých 10 % hlasovalo pro možnost „Spíše NE“. Odpovědi respondentů jsou zobrazeny na obrázku 3.7.

Poslední 3 otázky se týkaly použitého vybavení, a tudíž byly položeny pouze subjektům skupiny A. Tyto otázky měly odhalit možné nedostatky použitého hardwaru, softwaru nebo metody, kterou byla virtuální realita prezentována.

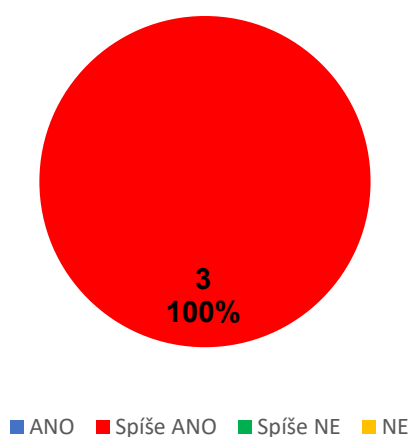
Otázka 6 - Cítil/a jste se ve virtuálním prostředí při použití VR headsetu komfortně?



Obrázek 3.8 Odpovědi respondentů pouze skupiny A na šestou otázku.

Dva ze tří respondentů skupiny A se ve virtuálním prostředí cítili komfortně. Zbýlý 1 dotazovaný zvolil možnost „Spíše ANO“ (obrázek 3.8).

Otázka 7 - Byl pohled do kokpitu letadla ideální?



Obrázek 3.9 Odpovědi respondentů pouze skupiny A na sedmou otázku.



Podle všech pilotů skupiny A byla odpověď na otázku, zda byl pohled do kokpitu letadla ideální, „Spíše ANO“ (obrázek 3.9).

Otázka 8 - Máte nějaké připomínky nebo návrhy na zlepšení poskytnutých studijních materiálů ve formě VR?

Poslední otázka umožnila respondentovi ve formě otevřené odpovědi vyjádřit se nebo napsat doporučení k výslednému produktu 1. části experimentu, tedy k letu po okruhu zpracovaném ve virtuální realitě.

Zodpovědět tuto otázku nebylo povinné. Jedinou odpovědí bylo doporučení přidat k videu zvuk z rádiového spojení mezi letadlem a dispečerem poskytovaní informací známému provozu, tedy stanicí Bene Radio.



4. Diskuse

Pro účely zhodnocení možného přínosu a následné implementace virtuální reality do výcviku byl v rámci praktické části této bakalářské práce vytvořen studijní materiál pro piloty ve výcviku rozšiřující pozemní přípravu na úlohu, která se zabývá letem po okruhu. Úloha letu po okruhu byla vybrána, jelikož je na ní možné nejlépe porovnat skupiny účastníků experimentu, ať už pro subjektivní hodnocení instruktorů, nebo pro objektivní hodnocení na základě dat získaných.

V první části experimentu bylo největší komplikací počasí, kvůli kterému musel být let, při kterém se zaznamenávalo 360° video, několikrát odložen. Velkou výhodou byl prosklený strop letadla, na který se dala jednoduše umístit kamera za pomoci přísavky. V případě, že by se natáčelo v letadle bez proskleného stropu, byla by instalace kamery daleko složitější.

V druhé části experimentu měl být přínos VR původně hodnocen na základě dat, a zároveň i podle hodnocení instruktorů. Následně bylo zjištěno, že systémy, které zaznamenávají letová data na palubě letadla Tecnam P200JF, nedokážou zapisovat letová data na paměťovou kartu na rozdíl od systému Garmin 1000, který takovou funkci má. Z toho tedy vyplynulo, že hodnocení přínosu virtuální reality bude muset být provedeno primárně na základě odpovědí zúčastněných subjektů na experimentu. To bude doplněno subjektivním hodnocením instruktorů.

Podle položené hypotézy, která byla zmíněna v úvodu práce, by piloti, jež použili virtuální realitu ve výcviku, měli být sebejistější při provedení letu a zároveň by mělo dojít k rychlejší adaptaci pilota na danou úlohu.

Z dat získaných oběma dotazníky je evidentní, že respondenti skupiny A odpovídali na všechny otázky „ANO“ nebo „Spíše ANO“. To znamená, že podle jejich názoru může být virtuální realita pro výcvik přínosná, po využití virtuální reality se budou cítit bezpečněji při provedení letu, úkony, které byly obsaženy v rámci VR, budou moci převést do praxe a zároveň tvrdí, že by bylo přínosné doplnit pozemní přípravu o možnost využití VR.

U skupiny B na stejné otázky odpovídali respondenti podobně, avšak objevovali se u některých otázek i odpovědi „Spíše NE“. Tento jev je možné vysvětlit tím, že u skupiny B si respondenti měli možnost takový scénář pouze představit, a ne ho sami vyzkoušet ve srovnání se skupinou A. Proto se mohli častěji domnívat, že VR nebude v dané problematice přínosem.

V návaznosti na odpovědi u otázky 5 je možné usuzovat, že respondenti dotazníků by se cítili sebejistěji při využití virtuální reality. A ti, kteří virtuální realitu v rámci experimentu využili, respondenti skupiny A, se sebejistěji cítili, čímž se potvrdila první část hypotézy stanovené v úvodu. Dalším důležitým ukazatelem je otázka 3. Podle respondentů obou skupin díky



virtuální realitě bylo, nebo by bylo, lépe demonstrováno, co se od nich v prezentované letové úloze bude očekávat. Tím pádem se dá očekávat, že by piloti byli lépe seznámeni s danou úlohou a jejich výkon by byl lepší ve srovnání s piloty, kteří by tuto možnost neměli. Obě skupiny dotázaných pak tvrdí, že pokud by jim byla poskytnuta virtuální realita pro nácvik postupů podle SOP, pak by tyto naučené postupy byli schopni převést do praxe, a tedy do jimi prováděných letů.

Z hodnocení instruktorů vyplývá, že piloti ve výcviku, kteří měli k dispozici virtuální realitu v rámci pozemní přípravy na nácvik okruhů, se v letadle rychleji adaptovali na danou úlohu. Piloti skupiny A vykazovali lepší orientaci na okruhu, vyšší koncentraci a správnost při provádění úkonů na zemi i za letu a snížení chybovosti vedení letounu po okruhu.

Toto tvrzení potvrzuje druhou část hypotézy, a tedy že využití virtuální reality napomůže rychlejší adaptaci studentů na danou letovou úlohu, popřípadě na letadlo. V případě, že piloti vykazují lepší orientaci na okruhu, jak také vyplývá z hodnocení instruktorů, je možné tvrdit, že dochází ke zlepšení situačního povědomí. Spolu se zlepšením SITAW a snížením chybovosti vedení letounu po okruhu je možné tvrdit, že dochází k větší bezpečnosti provozu v letištní provozní zóně (ATZ) letiště.

Na základě výsledků obou dotazníků a hodnocení instruktorů je tedy zřejmé, že virtuální realita může být pro počáteční fáze výcviku pilotů přínosná. Výsledky ostatních výzkumů, které hodnotily přínos virtuální reality v jiných oborech mimo letectví, pak také hodnotí virtuální realitu kladně a poukazují na benefity její implementace pro výcvikové účely.



5. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit materiály pro praktický výcvik pilotů ve formě virtuální reality, otestovat produkt praktické části, porovnat výkonnost pilotů, kteří virtuální realitu ve výcviku použili a těch, kteří ji nepoužili a navrhnout implementaci VR do výcviku. Časově nejnáročnější část experimentu bylo natočení 360° videa a následné vložení virtuálních prvků. V rámci první části experimentu došlo nejen k natočení jedné letové úlohy, tedy letu po okruhu, ale i dalších, které však nebyly součástí této práce. Výsledný produkt první části byl testován na pilotech ve výcviku v letecké škole F air a na Fakultě dopravní ČVUT v Praze. Z dat získaných z dotazníků je patrné, že piloti, jež se účastnili experimentu, by virtuální realitu ve výcviku uvítali. Na základě tohoto, byť subjektivního hodnocení, je možné dojít k závěru, jenž poukazuje na benefity virtuální reality pro počáteční fáze výcviku. Mezi tyto benefity patří větší sebejistota pilotů během výcviku, možnost komplexnější přípravy na let a možná úspora finančních prostředků pilotů, jelikož dochází k redukci času potřebného na „familiarizaci“ studenta s letounem a danou letovou úlohou. V návaznosti na uvedené výhody by virtuální realita měla být implementována do pozemních příprav před letové úlohy, u kterých to bude potřeba. Kromě zmíněné úlohy, let po okruhu, může být dále VR zpracována například pro nácvik pádů, vývrtek, vybírání neobvyklých poloh a dalších letových úloh.

Vzhledem k situaci v souvislosti s COVID-19 a časové náročnosti tvorby virtuální reality se testování zúčastnilo menší množství testovaných pilotů. Pokud by se experimentu účastnil větší počet subjektů, byla by data více směrodatná. Dále by hodnocení pilotů a jejich vzájemné porovnávání bylo více komplexní, pokud by byla k dispozici objektivní data a nejen subjektivní. Objektivní data by se dala získat z palubních systémů zapisujících letová data. Tato data by bylo možné porovnat mezi skupinami pilotů, kteří pozemní přípravu absolvovali s virtuální realitou a bez ní. Z nich by se dala porovnat vertikální a laterální odchylka od požadované trati, tedy například od ideálního tvaru okruhu, subjektů obou skupin. Avšak u zmíněného způsobu hodnocení vyvstává otázka, zda by se tato data dala hodnotit. Vytvořené materiály ve formě VR by se měly používat primárně před prvním letem v dané úloze. V našem případě, pokud bude pilot na svém prvním letu v dané letové úloze a nebude zvládat vést letadlo po okruhu ve stanovené výšce a na stanovené trati, instruktor letící s ním stejně do jeho řízení zasáhne a pomůže studentovi s řízením letadla. Tím pádem bude docházet k redukci možných odchylek od trati i s pomocí letových dat nemusí být evidentní rozdíl mezi oběma skupinami.

Dalším problémem je samotné zapisování letových dat. V počátečních fázích výcviku se používají letadla, která mají jednodušší palubní systémy, z kterých není možné letová data zaznamenat, nebo mají pouze analogové přístrojové vybavení. A v takovém případě pak žádná možnost záznamu ani neexistuje. Virtuální realita, jež byla zpracována pro účely této



bakalářské práce, se vytvářela konkrétně pro letadlo Tecnam P2002JF. Piloti, kteří se účastnili experimentu, tedy létali na tomto letadle, které je vybaveno systémy Garmin G500 spolu s Garmin GNS480W a tento systém není schopen letová data zaznamenat. Další letadlo, které se používá v této fázi výcviku, je Cessna 150, kterou letecká škola F air provozuje v analogovém provedení, a tudíž je sběr dat také nemožný. Z toho plyne, že pro sběr objektivních dat by bylo potřeba letadlo s lepší avionikou, například se systémem Garmin G1000, avšak taková letadla se pro počáteční fáze výcviku často nepoužívají.

Konkrétně pro hodnocení přínosu implementace virtuální reality v takovéto formě do výcviku pilotů je tedy subjektivní hodnocení důležité. Na základě takového hodnocení je pak možné vyvodit, zda podle názoru zúčastněných pilotů má VR přínos a na základě hodnocení instruktorů vyhodnotit, která skupina si v letadle vedla lépe.

Přínosem práce jsou nově vzniklé vizualizace letových úloh ve virtuální realitě, která byla pozitivně hodnocena zúčastněnými subjekty. Následně by tyto materiály měly být implementovány do výcviku pilotů. Účelem těchto materiálů není nahradit dříve používané metody, nýbrž původní metody doplnit a rozšířit.

V rámci testování virtuální reality v experimentu byl pilotům poskytnut záznam letu pouze se zvukem letadla jakožto audio stopou. Do budoucna je možné rozšířit audio stopu videa například o komunikaci letícího pilota s věží. Další možností je propojit VR headset s počítačem, kde bude promítán aktuální pohled pilota, který používá headset. Instruktor, který pilota v rámci pozemní přípravy připravoval na letovou úlohu, může komentovat situaci, kterou vidí pilot s nasazeným headsetem. Složitější a nákladnější verzí tohoto experimentu je pak doplnění virtuálních vypínačů do videa, popřípadě do virtuálního kokpitu letadla. V takové aplikaci by pak pilot mohl požadované úkoly pomocí ovladačů provádět a sama aplikace by dokázala vyhodnotit, zda byla sekvence provedených úkonů správná či nikoliv.

Seznam použité literatury

- [1] EASA: *Easy Access Rules for Flight Crew Licencing (Part-FCL)*. In: . Easy Access Rules for Aircrew (Regulation (EU) No 1178/2011), 2020, 13. srpen. https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Easy_Access_Rules_for_Part-FCL-Aug20.pdf
- [2] EASA: *Easy Access Rules for Medical Requirements (Part-MED)*. In: . Easy Access Rules for Aircrew (Regulation (EU) No 1178/2011), 2020, 13. srpen. https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Easy_Access_Rules_for_Medical_Requirements-Jun20.pdf
- [3] PENNINGTON, Elizabeth, Riley HAFER, Erin NISTLER, Todd SEECH a Chad TOSSELL. Integration of Advanced Technology in Initial Flight Training. In: *2019 Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS)*. IEEE, 2019, 2019, s. 1-5. DOI: 10.1109/SIEDS.2019.8735628. ISBN 978-1-7281-0998-5.
- [4] SANDERS-REED, John (Jack) N., Jarvis (Trey) J. ARTHUR, Niklas PEINECKE a Johannes ERNST. VR and AR environments for virtual cockpit enhancements. In: Proc. SPIE 10197, Degraded Environments: Sensing, Processing, and Display 2017. 2017-5-5, 101970W-. DOI: 10.1117/12.2262413.
- [5] RISUKHIN, Vladimir N. Integration of Affordable Information Technology Products into General Aviation Training and Research. In: *16th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference*. Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2016, 2016-06-13, s. ISBN 978-1-62410-440-4. DOI: 10.2514/6.2016-3917
- [6] DORR, Les. Fact Sheet – General Aviation Safety. In: *Federal Aviation Administration*. Washington D.C., USA: Federal Aviation Administration, 2018, 30. červenec. https://www.faa.gov/news/fact_sheets/news_story.cfm?newsId=21274
- [7] D'CRUZ, Mirabelle, Harshada PATEL, Laura LEWIS, et al. Demonstration: VR-HYPERSPACE — The innovative use of virtual reality to increase comfort by changing the perception of self and space. In: *2014 IEEE Virtual Reality (VR)*. IEEE, 2014, 2014, s. 167-168. ISBN 978-1-4799-2871-2. DOI:10.1109/VR.2014.6802104
- [8] MCGILL, Mark a Stephen BREWSTER. Virtual reality passenger experiences. In: *Proceedings of the 11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications: Adjunct Proceedings*. New York, NY, USA: ACM, 2019, 2019-09-21, s. 434-441. ISBN 9781450369206. DOI:10.1145/3349263.3351330



- [9] SCHMELTER, Thereza a Kristian HILDEBRAND. Analysis of Interaction Spaces for VR in Public Transport Systems. In: *2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*. IEEE, 2020, 2020, s. 279-280. ISBN 978-1-7281-6532-5. DOI:10.1109/VRW50115.2020.00058
- [10] KRUEGER, Wesley W.O. Controlling motion sickness and spatial disorientation and enhancing vestibular rehabilitation with a user-worn see-through display. *The Laryngoscope*. 2011, **121**(S2), S17-S35. ISSN 0023852X. DOI:10.1002/lary.21373
- [11] KEFALIDOU, Genovefa, Mirabelle D'CRUZ, André CASTRO a Rui MARCELINO. Designing Airport Interiors with 3D Visualizations. In: *Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: ACM, 2019, 2019-05-02, s. 1-8. ISBN 9781450359719. DOI:10.1145/3290607.3299045
- [12] BAILEN SON, Jeremy, Kayur PATEL, Alexia NIELSEN, Ruzena BAJSCY, Sang-Hack JUNG a Gregorij KURILLO. The Effect of Interactivity on Learning Physical Actions in Virtual Reality. *Media Psychology*. 2008, **11**(3), 354-376. DOI: 10.1080/15213260802285214. ISSN 1521-3269.
- [13] REIS, Vitor a Claudia NEVES. Application of virtual reality simulation in firefighter training for the development of decision-making competences. In: *2019 International Symposium on Computers in Education (SIIE)*. IEEE, 2019, 2019, s. 1-6. DOI: 10.1109/SIIE48397.2019.8970143. ISBN 978-1-7281-3182-5.
- [14] GRABOWSKI, Andrzej a Jarosław JANKOWSKI. Virtual Reality-based pilot training for underground coal miners. *Safety Science*. 2015, **72**, 310-314. DOI: 10.1016/j.ssci.2014.09.017. ISSN 09257535.
- [15] LOUKAS, Constantinos, Nikolaos NIKITEAS, Dimitrios SCHIZAS, Vasileios LAHANAS a Evangelos GEORGIU. A head-to-head comparison between virtual reality and physical reality simulation training for basic skills acquisition. *Surgical Endoscopy* 2012, **26**(9), 2550-2558. DOI: 10.1007/s00464-012-2230-7. ISSN 0930-2794.
- [16] STEUER, Jonathan. Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. *Journal of Communication*. 1992, **42**(4), 73-93. ISSN 00219916. Dostupné z: doi:10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x
- [17] GONZÁLEZ IZARD, Santiago, Ramiro SÁNCHEZ TORRES, Óscar ALONSO PLAZA, Juan Antonio JUANES MÉNDEZ a Francisco José GARCÍA-PEÑALVO. Nextmed: Automatic Imaging Segmentation, 3D Reconstruction, and 3D Model Visualization Platform



- Using Augmented and Virtual Reality. *Sensors*. 2020, **20**(10). DOI: 10.3390/s20102962. ISSN 1424-8220.
- [18] DUER, Zach, Todd OGLE, David HICKS, Scott FRALIN, Thomas TUCKER a Run YU. Making the Invisible Visible: Illuminating the Hidden Histories of the World War I Tunnels at Vauquois Through a Hybridized Virtual Reality Exhibition. *IEEE Computer Graphics and Applications*. 2020, **40**(4), 39-50. DOI: 10.1109/MCG.2020.2985166. ISSN 0272-1716.
- [19] VAHDATIKHAKI, Faridaddin, Khaled EL AMMARI, Armin Kassemi LANGROODI, Seirgei MILLER, Amin HAMMAD a Andre DOREE. Beyond data visualization: A context-realistic construction equipment training simulators. *Automation in Construction*. 2019, **106**. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.102853. ISSN 09265805.
- [20] BARBOT, Baptiste a James C. KAUFMAN. What makes immersive virtual reality the ultimate empathy machine? Discerning the underlying mechanisms of change. *Computers in Human Behavior*. 2020, **111**. DOI: 10.1016/j.chb.2020.106431. ISSN 07475632.
- [21] RAJU, K. Chalapathi, K. YUGANDHAR, D.V.N. BHARATHI a Nagavalli VEGESNA. 3D Based Modern Education System Using Augmented Reality. In: *2018 IEEE 6th International Conference on MOOCs, Innovation and Technology in Education (MITE)*. IEEE, 2018, 2018, s. 37-42. ISBN 978-1-5386-5968-7. Doi:10.1109/MITE.2018.8747078
- [22] Google Glass. *Google* [online]. USA. Dostupné z: <https://www.google.com/glass/tech-specs/>
- [23] RAFI, Melvin, Balaji CHANDRASEKARAN, Bill KUSMEZ, James E. STECK a Jibo HE. Real-Time Google Glass Heads-Up Display for Rapid Air-Traffic Detection. *Journal of Aircraft*. 2018, **55**(1), 263-274. ISSN 0021-8669. Doi:10.2514/1.C034362
- [24] KYLE, William D. *Head-Up Displays for General Aviation*. In: . 1985-04-01, s. - Doi:10.4271/850902
- [25] KAISER, Jochen, Udo MAYER, Arnd HELMETAG, Andrew J. WOODS, Mark T. BOLAS, John O. MERRITT a Stephen A. BENTON. In: . 2001-6-22, s. 117-126. Doi:10.1117/12.430808



- [26] WANG, Ling, Bei CHEN, Chunhui YU a Wanjing MA. A Review of Automotive Head-Up Display. In: *CICTP 2019*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2019, 2019-07-02, s. 568-580. ISBN 9780784482292. DOI:10.1061/9780784482292.052
- [27] VIOLANTE, Maria Grazia, Enrico VEZZETTI a Pietro PIAZZOLLA. Interactive virtual technologies in engineering education: Why not 360° videos? *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*. 2019, **13**(2), 729-742. DOI: 10.1007/s12008-019-00553-y. ISSN 1955-2513.
- [28] RENGANAYAGALU, Sathiya kumar, Steven C. MALLAM a Salman NAZIR. Effectiveness of VR Head Mounted Displays in Professional Training: A Systematic Review. *Technology, Knowledge and Learning*. ISSN 2211-1662. Doi:10.1007/s10758-020-09489-9
- [29] CRUZ-NEIRA, Carolina, Daniel J. SANDIN a Thomas A. DEFANTI. Surround-screen projection-based virtual reality. In: *Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques - SIGGRAPH '93*. New York, New York, USA: ACM Press, 1993, 1993, s. 135-142. ISBN 0897916018. Doi:10.1145/166117.166134
- [30] NISHIMOTO, Arthur a Andrew E JOHNSON. Extending Virtual Reality Display Wall Environments Using Augmented Reality. In: *Symposium on Spatial User Interaction*. New York, NY, USA: ACM, 2019, 2019-10-19, s. 1-5. DOI: 10.1145/3357251.3357579. ISBN 9781450369756.
- [31] ARTHUR, Jarvis (Trey) J., Randall E. BAILEY, Steven P. WILLIAMS, Lawrence J. PRINZEL, Kevin J. SHELTON, Denise R. JONES a Vincent E. HOUSTON. Review of head-worn displays for the Next Generation Air Transportation System. *Optical Engineering*. 2017, **56**(5). ISSN 0091-3286. DOI:10.1117/1.OE.56.5.051405
- [32] ICAO. *Doc 9625: Manual of Criteria for the Qualification of Flight Simulation Training Devices*. 4. Edition. Montréal, Canada: INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 2015. ISBN 978-92-9249-761-3.
- [33] NARCISO, David, Maximino BESSA, Miguel MELO, António COELHO a José VASCONCELOS-RAPOSO. Immersive 360° video user experience: impact of different variables in the sense of presence and cybersickness. *Universal*



- Access in the Information Society*. 2019, **18**(1), 77-87. DOI: 10.1007/s10209-017-0581-5. ISSN 1615-5289.
- [34] RA, Kevin Kyunghwan a James J. CLARK. Decoupled Hybrid 360° Panoramic Stereo Video. In: *2019 International Conference on 3D Vision (3DV)*. IEEE, 2019, 2019, s. 386-394. ISBN 978-1-7281-3131-3. Doi:10.1109/3DV.2019.0005
- [35] *IDNES* [online]. Czech republic. Dostupné z: https://1gr.cz/fotky/idnes/11/102/cl5/KLU3e8aee_terminal_PCE_bmp.jpg
- [36] *Thepointsguy* [online]. United Kingdom. Dostupné z: https://thepointsguy.co.uk/wp-content/uploads/2019/07/IMG_20190711_093733_049.jpg
- [37] *Visbox* [online]. USA. Dostupné z: <http://www.visbox.com/products/cave/>
- [38] *Aviation Voice* [online]. Lithuania. Dostupné z: <https://aviationvoice.com/wp-content/uploads/2018/09/BAA-Training-Boeing-737-NG-FFS.jpg>
- [39] *Immersion VR* [online]. United Kingdom. Dostupné z: <https://immersionvr.co.uk/wp-content/uploads/2019/07/stereo-small.jpg>
- [40] *miromedium* [online]. Dostupné z: https://miro.medium.com/max/1600/1*VsSUHAWYs4QcFNLnWJrbYw.jpeg

Seznam obrázků

Obrázek 1.1 Schéma výcviků.

Obrázek 1.2 Brýle určené k zakrytí výhledu z kabiny. Simulují let v podmínkách IMC [35].

Obrázek 1.3 Využití virtuální reality ve formě 3D vizualizace pro návrh terminálu letiště Pardubice z roku 2011 [36].

Obrázek 1.4 V levé části (A) jsou na obrázku Glass Enterprise Edition 2 [37]. V pravé části (B) je HUD na letounu Boeing 787 [38].

Obrázek 1.5 Princip funkce CAVE [39].

Obrázek 1.6 Simulátor Mechtronix FNPT II na letišti v Benešově (LKBE).

Obrázek 1.7 Plně pohyblivý letecký simulátor FFS pro Boeing 737NG [40].

Obrázek 1.8 Příklad produkce stereoskopického videa pro pravé (nahore) a levé (dole) oko zvlášť [41].

Obrázek 1.9 Znázornění pohledu levého a pravého oka [42].

Obrázek 2.1 Snímek vystřižený z 360° videa natáčeném při zkušebním letu Brně. Palubní deska Tecnamu P2002JF registrace OK-GPS ve třetí okružové zatáčce jižního okruhu letiště Brna (LKTB).

Obrázek 2.2 Letadlo Tecnam P2002JF registrace OK-ATZ použité pro natáčení 360° videa.

Obrázek 2.3 palubní deska letadla Tecnam P2002JF. Na levé straně před sedačkou pilota je na palubní desce Garmin G500 a na prostředku palubní desky je pak Garmin GNS400W společně s panely pro nastavení rádia a odpovídače módu S.

Obrázek 2.4 Vizualizace pohybů letadla Tecnam P2002JF registrace OK-ATZ ze dne 31. 3. 2021 pomocí aplikace Google Earth.

Obrázek 2.5 Vlevo (A) pohled na zavřenou kabinu letadla Tecnam P2002JF registrace OK-ATZ s připevněnou kamerou GoPro Fusion na horní straně kabiny. Vpravo (B) uchycení kamery GoPro Fusion pro účely natáčení v letadle Tecnam P2002JF včetně napájecího kabelu vedoucího z 12V zásuvky v pravé dolní části palubní desky ke kameře.

Obrázek 2.6 úprava videa pomocí programů Adobe Premiere a Adobe After Effects.

Obrázek 2.7 Before Take-Off Checklist, který se provádí před vstupem na dráhu. Jednotlivé položky na checklistu postupně zelenají. Zelená položka znamená, že daný úkon byl již proveden.

Obrázek 2.8 Animace sloužící pilotovi lépe se orientovat odkud, kam a kudy pojíždí. Pro tento účel byla použita oficiální mapka letiště Benešov (LKBE) a ta byla doplněna o červenou čáru, která se postupně vykresluje a značí, kudy se letadlo bude pohybovat po cestě na vyčkávací místo dráhy 24.

Obrázek 2.9 Pohled, který má pilot ve VR headsetu během pojíždění. Červená šipka obsahuje informace o změně směru pojíždění. Žluté rámečky s popisky pak symbolizují pojížděcí dráhy C a D. Zelené čáry znázorňují středové čáry pojížděcích drah.

Obrázek 2.10 Letadlo se nachází v poloze na finále na pravém okruhu dráhy 24 v Benešově (LKBE). Za pomoci virtuální reality je zde vyznačen úkon pro kontrolu rychlosti v pole na finále a zároveň je zde vyznačena dráha 24 pro lepší orientaci.

Obrázek 2.11 Headset Oculus Quest 2 s ovladači

Obrázek 3.1 Věkové rozložení respondentů obou dotazníků

Obrázek 3.2 Rozložení respondentů na základě nalétaných hodin z obou skupin. Vlevo jsou vidět sloupce s nízkým náletem, což zobrazuje porovnávané piloty.



Obrázek 3.3 Odpovědi respondentů na první otázku dotazníku. V levé části (A) jsou odpovědi respondentů skupiny A a v pravé části (B) jsou odpovědi subjektů skupiny B.

Obrázek 3.4 Odpovědi respondentů na druhou otázku dotazníku. V levé části (A) jsou odpovědi respondentů skupiny A a v pravé části (B) jsou odpovědi subjektů skupiny B.

Obrázek 3.5 Odpovědi respondentů na třetí otázku dotazníku. V levé části (A) jsou odpovědi respondentů skupiny A a v pravé části (B) jsou odpovědi subjektů skupiny B.

Obrázek 3.6 Odpovědi respondentů na čtvrtou otázku dotazníku. V levé části (A) jsou odpovědi respondentů skupiny A a v pravé části (B) jsou odpovědi subjektů skupiny B.

Obrázek 3.7 Odpovědi respondentů na pátou otázku dotazníku. V levé části (A) jsou odpovědi respondentů skupiny A a v pravé části (B) jsou odpovědi subjektů skupiny B.

Obrázek 3.8 Odpovědi respondentů pouze skupiny A na šestou otázku.

Obrázek 3.9 Odpovědi respondentů pouze skupiny A na sedmou otázku.



Seznam tabulek

Tabulka 1.1 Osnova výcviku

Tabulka 1.2 Přehled dostupných HMD

Tabulka 2.1 Parametry kamery GoPro Fusion.



Seznam Příloh

Příloha A – Dotazník pro skupinu A testovaných pilotů

Příloha B – Dotazník pro skupinu B testovaných pilotů



Příloha A

Dotazník pro skupinu A testovaných pilotů

Hodnocení přínosu VR

Dobrý den, pro účely bakalářské práce zabývající se přínosem VR ve výcviku pilotů, bych Vás chtěl poprosit o vyplnění krátkého dotazníku.

*Povinné pole

Vyberte Vaši věkovou skupinu *

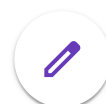
- 15-20
- 21-25
- 26-30
- 31-40
- 41-50
- 50+

Počet nalétaných hodin *

Vaše odpověď

Den, čas a registrace letadla z Vámi provedeného letu

Vaše odpověď



Mohla by být podle Vás VR ve výcviku pilotů přínosná? *

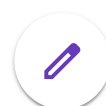
- 1) ANO
- 2) Spíše ANO
- 3) Spíše NE
- 4) NE

Myslíte si, že Vám VR pomůže nebo by Vám pomohla k lepšímu provedení letu? *

- 1) ANO
- 2) Spíše ANO
- 3) Spíše NE
- 4) NE

Myslíte si, že ve srovnání s klasickou pozemní přípravou, by Vám VR pomohla lépe přiblížit co se bude v dané úloze odehrávat? Za předpokladu, že jste absolvovali pozemní přípravu s VR, myslíte si, že Vám tato metoda pomohla? *

- 1) ANO
- 2) Spíše ANO
- 3) Spíše NE
- 4) NE



Myslíte si, že postupy a úkony, které jste se naučil/a při použití VR, nebo byste se naučil/a, pokud by Vám VR byla poskytnuta, bude možné převést do praxe? *

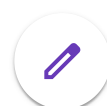
- 1) ANO
- 2) Spíše ANO
- 3) Spíše NE
- 4) NE

Budete se cítit, nebo cítil/a byste se po zkušenosti s VR sebejistěji při provedení letu? *

- 1) ANO
- 2) Spíše ANO
- 3) Spíše NE
- 4) NE

Cítil/a jste se ve virtuálním prostředí při použití VR headsetu komfortně? *

- 1) ANO
- 2) Spíše ANO
- 3) Spíše NE
- 4) NE
- 5) Irelevantní



Byl pohled do kokpitu letadla ideální? *

- 1) ANO
- 2) Spíše ANO
- 3) Spíše NE
- 4) NE
- 5) Irelevantní

Máte nějaké připomínky nebo návrhy na zlepšení poskytnutých studijních materiálů ve formě VR?

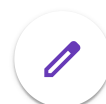
Vaše odpověď

Odeslat

Nikdy přes Formuláře Google neposílejte hesla.

Obsah není vytvořen ani schválen Googlem. [Nahlásit zneužití](#) - [Smluvní podmínky služby](#) - [Zásady ochrany soukromí](#)

Google Formuláře





Příloha B

Dotazník pro skupinu B testovaných pilotů

Hodnocení přínosu VR

Dobrý den, pro účely bakalářské práce zabývající se přínosem VR ve výcviku pilotů, bych Vás chtěl poprosit o vyplnění krátkého dotazníku.

*Povinné pole

Vyberte Vaší věkovou skupinu *

- 15-20
- 21-25
- 26-30
- 31-40
- 41-50
- 50+

Počet nalétaných hodin *

Vaše odpověď

Mohla by být podle Vás VR ve výcviku pilotů přínosná? *

- 1) ANO
- 2) Spíše ANO
- 3) Spíše NE
- 4) NE



Myslíte si, že Vám VR pomůže nebo by Vám pomohla k lepšímu provedení letu? *

- 1) ANO
- 2) Spíše ANO
- 3) Spíše NE
- 4) NE

Myslíte si, že ve srovnání s klasickou pozemní přípravou, by Vám VR pomohla lépe přiblížit co se bude v dané úloze odehrávat? Za předpokladu, že jste absolvovali pozemní přípravu s VR, myslíte si, že Vám tato metoda pomohla? *

- 1) ANO
- 2) Spíše ANO
- 3) Spíše NE
- 4) NE

Myslíte si, že postupy a úkony, které jste se naučil/a při použití VR, nebo byste se naučil/a, pokud by Vám VR byla poskytnuta, bude možné převést do praxe? *

- 1) ANO
- 2) Spíše ANO
- 3) Spíše NE
- 4) NE



Budete se cítit, nebo cítil/a by jste se po zkušenosti s VR sebejistěji při provedení letu? *

- 1) ANO
- 2) Spíše ANO
- 3) Spíše NE
- 4) NE

Odeslat

Nikdy přes Formuláře Google neposílejte hesla.

Obsah není vytvořen ani schválen Googlem. [Nahlásit zneužití](#) - [Smluvní podmínky služby](#) - [Zásady ochrany soukromí](#)

Google Formuláře

