



**České vysoké učení technické v Praze**

Fakulta dopravní

Ústav letecké dopravy

Využití virtuální reality při výcviku  
PPL(A) pro držitele SPL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

*Vypracoval:*

**Bc. Daniel Dittel**

*Vedoucí práce:*

**Ing. Roman Matyáš, Ph.D.**

2022

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



**K621.....Ústav letecké dopravy**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Daniel Dittel**

Studijní program (obor/specializace) studenta:

**navazující magisterské – PL – Provoz a řízení letecké dopravy**

Název tématu (česky): **Využití virtuální reality při výcviku PPL(A)  
pro držitele SPL**

Název tématu (anglicky): **Utilization of Virtual Reality into PPL(A) Training  
for SPL Pilots**

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je posoudit, zda držitelé SPL získají potřebné kompetence pro první sólo let na letounu pouze s využitím virtuální reality.
- Analyzujte současný stav využití virtuální reality v leteckém výcviku
- Navrhněte osnovu pro výcvik pilotů SPL v prostředí virtuální reality pro úvodní fázi PPL(A) výcviku do prvního sólo letu
- Navrhněte metodiku experimentu a proveďte ověření kompetencí získaných vámi navrženou osnovou na reálném letounu
- Vyhodnoťte, interpretejte a diskutujte výsledky
- Stanovte závěry práce



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Martirosov, S., & Kopecek, P. Virtual reality and its influence on training and education -literature review. 2017  
Trinon, Hélène. Immersive technologies for virtual reality - Case study : flight simulator for pilot training. Master Thesis. 2019

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Roman Matyáš, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **16. července 2021**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **16. května 2022**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

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



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

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Daniel Dittel  
jméno a podpis studenta

V Praze, dne..... **16. července 2021**

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem k tomu pouze zdroje uvedené na konci práce, a to v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským.

V Praze dne: 15. 05. 2022

.....

Bc. Daniel Dittel

## **Poděkování**

Děkuji panu Ing. Romanovi Matyášovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, za odbornou podporu, cenné rady, připomínky a podnětné návrhy, které ji obohatily.

Děkuji také pánům Bc. Filipovi Kopeckému a Ing. Janu Oplatkovi za profesionální instruktorskou podporu, odbornou pomoc při teoretickém i praktickém výcviku pilotních žáků a dozor nad bezpečným provedením všech letů v rámci experimentu.

V neposlední řadě děkuji také všem účastníkům, kteří tomuto experimentu věnovali mnoho hodin ze svého volného času.

## **Abstrakt**

V současné době je výcvik pilotů prováděn v simulátorech, které jsou replikami skutečných kokpitů. Stavba těchto simulátorů je drahá a lze je použít pouze pro úzký seznam typů letounů a druhů výcviků. Virtuální realita může naopak simulovat jakýkoliv kokpit za cenu jednoho přístroje a má potenciál poskytnout lepší pilotní výcvik. Tato diplomová práce se zabývá experimentálním ověřením a posouzením, zda držitelé SPL získají potřebné kompetence pro první sólo let na motorovém letounu pouze s využitím virtuální reality. Experiment byl proveden na vzorku 10 účastníků s různým náletem a počtem přistání. Původně bylo účastníků 11, ale jeden účastník experiment nedokončil z důvodu nepříjemných pocitů ve virtuální realitě. Účastníci byli podrobeni výcviku na simulátoru na bázi virtuální reality. Pro tento výcvik byla navržena nová osnova. V tomto výcviku uspěli všichni, ač byly pozorovány rozdíly v délce potřebného výcviku. Po tomto výcviku následoval let ve skutečném letounu o délce 3 okruhů. Během experimentu byla sledována výkonnost účastníků v různých fázích letu (stoupání, horizontální let, klesání, přistání). Během výcviku na simulátoru i během skutečného letu byla zaznamenávána letová data, která byla poté vyhodnocena. Účastníci také v různých fázích experimentu dostávali dotazníky, ve kterých uvedli své subjektivní pocity. Toto subjektivní sebehodnocení bylo poté srovnáno s objektivním hodnocením (letová data, komentáře instruktora). Z experimentu vzešlo 5 úspěšných a 5 neúspěšných účastníků. Na vzorku 10 účastníků práce identifikovala oblasti, které je vhodné trénovat v prostředí virtuální reality (zejména postupy v kokpitu). Virtuální realita je vhodným doplňkem pro pilotní výcvik, ale není vhodné ji použít pro celý výcvik. Je potřebné trénovat i ve skutečném letounu. Práce dále odhalila problém, kdy pilotní žáci po dokončení výcviku ve virtuální realitě získali falešný pocit úspěchu, protože ačkoliv na simulátoru byli všichni úspěšní, tak při letu ve skutečném letounu polovina účastníků selhala.

## **Klíčová slova**

virtuální realita, letecký simulátor, pilotní výcvik, kluzáky, letištní okruh, srovnání výkonností, všeobecné letectví

## **Abstract**

Pilot training is currently conducted in simulators that are replicas of real cockpits. The construction of these simulators is expensive, and they can only be used for a narrow list of aircraft and training types. Virtual reality, on the other hand, can simulate any cockpit for the price of a single device and has the potential to provide better pilot training. This diploma thesis deals with experimental verification and assessment of whether SPL holders acquire the necessary competencies for the first solo flight in a powered aircraft using only virtual reality. The experiment was performed on a sample of 10 participants with a wide range of flight experience. There were originally 11 participants, but one participant did not complete the experiment due to unpleasant feelings in virtual reality. The participants were trained using a simulator based on virtual reality. A new syllabus was designed for this training. Everyone succeeded in this training, although differences in the length of training required were observed. This training was followed by a flight in a real aircraft that consisted of 3 traffic patterns. During the experiment, the participants' performance in different phases of flight (climb, horizontal flight, descent, landing) was monitored. During the training on the simulator and during the real flight, flight data was recorded, which was then evaluated. The participants also received questionnaires at various stages of the experiment, in which they stated their subjective feelings. This subjective self-assessment was then compared with an objective assessment (flight data, instructor's comments). The outcome of the experiment was 5 successful and 5 unsuccessful participants. On a sample of 10 participants, areas that are suitable for training in a virtual reality environment (especially flight procedures) were identified. Virtual reality is a suitable complement to pilot training, but it is not suitable to use as the only means of flight training. It is necessary to train in a real airplane as well. The thesis also revealed a problem where student pilots gained a false sense of accomplishment after completing the training in virtual reality, because although they all were successful in the simulator training, half of them failed in a real airplane.

## **Keywords**

virtual reality, flight simulator, pilot training, sailplanes, traffic pattern, performance comparison, general aviation

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	10
<b>1. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY</b> .....	12
1.1 Definice virtuální reality .....	12
1.2 Historie vývoje a využití virtuální reality .....	12
1.2.1 První multisenzorické zařízení.....	12
1.2.2 První náhlavní souprava se dvěma displeji.....	13
1.2.3 Počátky využití virtuální reality v letectví.....	14
1.3 Obecné výhody, typy a využití virtuální reality v různých odvětvích .....	17
1.3.1 Vzdělávání, trénink a odborná příprava.....	19
1.3.2 Medicína .....	19
1.3.3 Zábava a sport.....	20
1.3.4 Inženýrství a architektura.....	20
1.3.5 Vizualizace dat.....	20
1.4 Výcvik pilotů v současné době .....	21
1.5 Potenciál virtuální reality v letectví .....	21
1.6 První simulátor na bázi virtuální reality certifikovaný EASA.....	25
1.7 Limitace současného stavu.....	27
<b>2. METODIKA</b> .....	28
2.1 Výběr účastníků .....	29
2.2 Výběr letiště .....	30
2.3 Výběr letounu.....	32
2.4 Výběr hardwaru pro simulátorový výcvik .....	36
2.4.1 Berany a ovladač přípusti .....	36
2.4.2 Pedály.....	37
2.4.3 Náhlavní souprava pro virtuální realitu .....	37



2.5	Výběr softwaru pro simulátorový výcvik .....	39
2.6	Teoretický výcvik.....	41
2.7	Letová osnova .....	42
2.8	Sestavení dotazníků.....	47
2.9	Metodika vyhodnocení.....	49
<b>3.</b>	<b>VÝSLEDKY .....</b>	<b>51</b>
3.1	Náhodný účastník.....	51
3.2	Vyhodnocení všech 10 účastníků.....	58
3.3	Vyhodnocení dotazníků .....	66
<b>4.</b>	<b>DISKUZE .....</b>	<b>73</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>77</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</b>	<b>79</b>
	<b>ZKRATKY A SYMBOLY .....</b>	<b>82</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>85</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>87</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>88</b>

# ÚVOD

Již za dávných dob člověk vzhlížel k obloze a toužil se volně prohánět ve výškách jako ptáci. O několik tisíciletí později se mu to skutečně podařilo. Poté během následujících asi 100 let nastal obrovský pokrok v této oblasti.

Pilotní výcvik však byl mnoho let vázán na nutnost naučit se ovládat letadlo při samotném skutečném létání. První letecký simulátor se objevil ve 20. letech 20. století, ale jednalo se pouze o zařízení pro nácvik základní orientace v kokpitu, protože tento simulátor nebyl vybaven žádným projekčním zařízením pro simulaci okolí letadla.

Ve druhé polovině 20. století se začaly objevovat první zajímavější letecké simulátory, které umožnily pilotům naučit se některé letecké manévry a otevřely jim dveře k nácviku mnohých scénářů v bezpečí. Část leteckého výcviku se díky tomu mohla přesunout na zem. Tyto simulátory však bylo nutné naprojektovat a postavit jako kompletní kopii skutečného kokpitu daného letadla, což bylo mnohdy finančně i prostorově velice nákladné. Ceny těch nejrealističtějších simulátorů se také blížily cenám skutečného letounu. A v neposlední řadě mohl být takto postavený simulátor použit pouze pro určitý typ letounu, případně pro danou třídu letounů. To vše však pravděpodobně může změnit příchod technologie plně pohlcující virtuální reality.

V blízké minulosti začala na trh pronikat technologie virtuální reality, a protože se jedná o univerzální zařízení, může z této technologie těžit i letecký průmysl. Díky této technologii se otevírají možnosti pohlcení pilota do mnohých výcvikových scénářů a simulace kokpitu a chování jakéhokoliv letadla za zlomek ceny předchozích simulátorů.

Motivací k vypracování této diplomové práce bylo studium možného využití virtuální reality v pilotním výcviku, protože díky rostoucí dostupnosti této technologie se o ni začíná zajímat čím dál více lidí a s nynější rychlostí rozvoje nových technologií by bylo zajímavé zjistit, do jaké míry je tato technologie použitelná v pilotním výcviku, případně v jakých oblastech pilotního výcviku je či není vhodné ji použít.

Plán postupu je provést rešerši současného stavu problematiky a vyšetřit, zda již v minulosti proběhl nějaký výzkum v oblasti použití virtuální reality pro pilotní výcvik. Dalším bodem je návrh metodiky provedení experimentu, kde bude zkoumáno, zda držitelé SPL dokáží pouze za použití simulátoru na bázi virtuální reality získat potřebné kompetence, aby dokázali bezpečně zaletět okruh v motorovém letounu. Následující bod bude obsahovat analýzu

a vyhodnocení naměřených dat. Nad vyhodnocenými daty bude provedena diskuze a bude zhodnocen přínos experimentu. Na závěr bude dle výsledků diskuze doporučen další vhodný výzkum v této oblasti.

# 1. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

Virtuální realita přitahuje v posledních letech velkou pozornost. Virtuální realita však není novým pojmem. Tato technologie existuje už od minulého století, avšak v posledních letech velmi výrazně pokročila.

V této kapitole je rozebírána definice virtuální reality, historie, dělení různých typů virtuální reality a oblasti možnosti využití této technologie v současné době či v budoucnu.

## 1.1 Definice virtuální reality

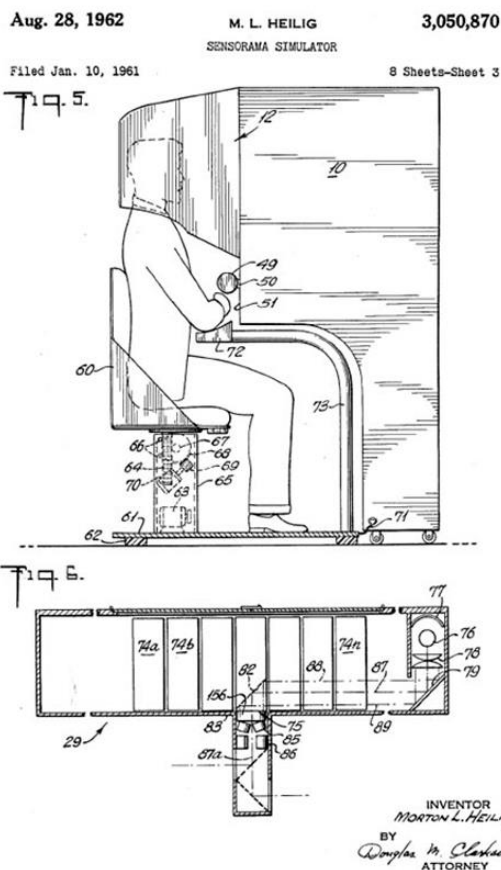
Virtuální realita je definována jako iluze bytí v syntetickém prostředí [1], nikoliv pozorování takového prostředí zvnějšku. Virtuální realita funguje na základě displejů umístěných v náhlavní soupravě a externích či interních senzorů pro sledování polohy a pohybů hlavy, sledování polohy a pohybů rukou či těla. To vše doplňuje binaurální zvuk. Virtuální realita je multisenzorický [1], pohlcující zážitek.

## 1.2 Historie vývoje a využití virtuální reality

Vývoj virtuální reality prošel mnoha fázemi a koncepty. Mezi ty nejdůležitější lze zařadit následující modely a průkopníky.

### 1.2.1 První multisenzorické zařízení

Prvním zajímavým multisenzorickým simulátorem byla Sensorama [1], která byla představena v roce 1962 Mortonem Heiligem. Obrázek systému Sensorama lze vidět na obr. 1. O tomto přístroji se říkalo, že se snaží diváka pohltit „novou realitou“. Sledování barevného stereo filmu bylo plné binaurálního zvuku, vůní, větru a vibrací. Tato virtuální realita byla vytvořena s pozoruhodnou věrností. Také se o něm říkalo, že simuluje realitu mnohem lépe než jakýkoliv jiný systém, který v té době existoval.



Introducing . . .

# sensorama

The Revolutionary Motion Picture System that takes you into another world with

- 3-D
- WIDE VISION
- MOTION
- COLOR
- STEREO-SOUND
- AROMAS
- WIND
- VIBRATIONS

○ PATENTED

SENSORAMA, INC., 855 GALLOWAY ST., PACIFIC PALISADES, CALIF. 90272  
 TEL. (213) 459-2162

Obr. 1 Systém Sensorama. Zdroj: [2]

Divák se mohl projet na motorce po New Yorku – tento zážitek byl doplněný generovaným větrem, hlukem a vůněmi New Yorku. Stroj Sensorama měl skoro všechny znaky systému, kterému v současné době říkáme virtuální realita [1] – kromě toho, že nebyl interaktivní, neboť trasa byla stanovena předem. Jednalo se tedy v podstatě pouze o film, nikoliv o interaktivní hru, a divák mohl jen pasivně přihlížet.

## 1.2.2 První náhlavní souprava se dvěma displeji

Průkopníkem v oblasti počítačové grafiky je Ivan Sutherland. Na její rozvoji se pravděpodobně podílel více než kterýkoli jiný člověk. V roce 1965 sepsal návrh na přístroj zvaný „The ultimate display“. [1] Tento přístroj obsahoval interaktivní grafiku, ale také zařízení se zpětnou vazbou, zvuk, vůni, a dokonce i chuť. Přístroj lze vidět na obr. 2.



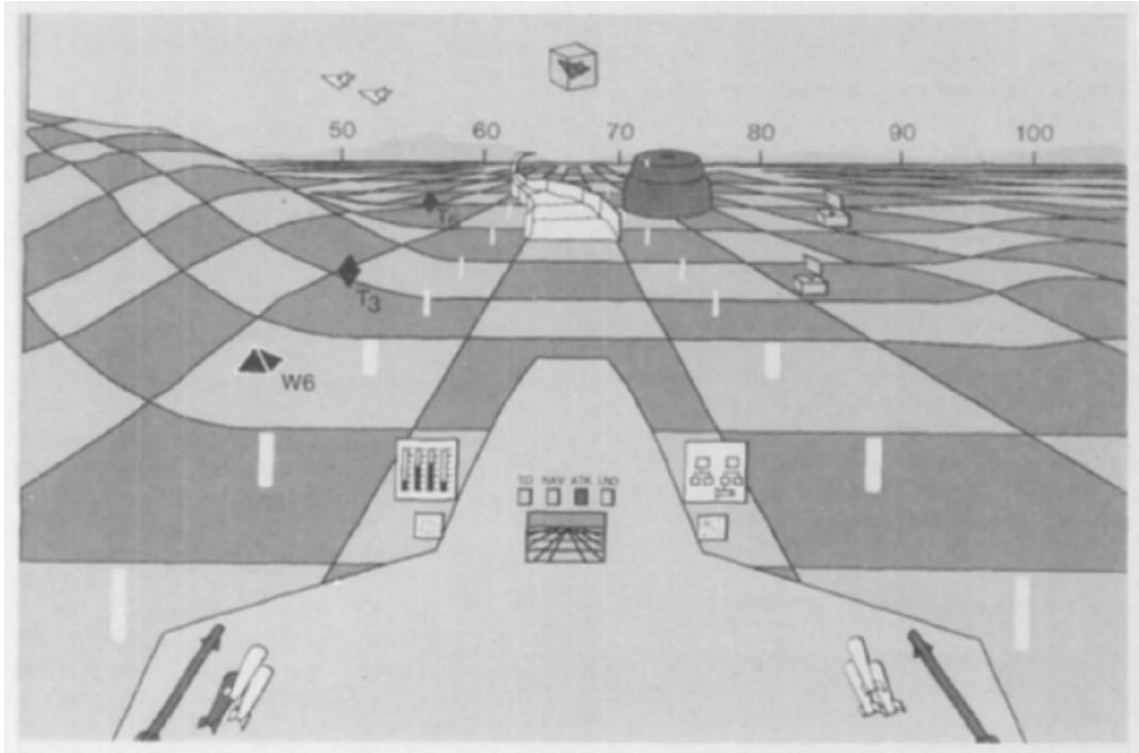
*Obr. 2 The ultimate display. Zdroj: [3]*

V roce 1968 popsal displej namontovaný na hlavě, který sledoval pohyby nositele a aktualizoval svůj displej tak, aby správně odrážel novou pozici, do které se člověk pohnul. Sutherlandův systém používal dva displeje, které byly viditelné díky dvojici napůl postříbřených zrcadel. [1] To poskytlo divákovi stereoskopický obraz počítačové grafiky překrytý na skutečný svět.

### 1.2.3 Počátky využití virtuální reality v letectví

K rozvoji virtuální reality přispěl i vývoj leteckých simulátorů. Část technologie potřebné pro virtuální realitu byla vyvinuta pro vojenské letecké simulátory. Významnou práci pro rozvoj virtuální reality odvedl Tom Furness [4] v laboratořích Armstrong Medical Research amerického letectva.

Furness a jeho výzkumná skupina vyvinuli přístroj VCASS (Visually Coupled Airborne Systems Simulator) do kokpitu stíhačky, kde měl pilot na hlavě displej, který augmentoval pohled ven z okna pomocí grafiky. [1] [4] Tato grafika zahrnovala identifikaci vlastních letadel a nepřítelů, informace o zacílení, informace o hrozbách (např. pozemní raketová stanoviště) a také informace o optimální dráze letu. Vizualizaci pohledu lze vidět na obr. 3.



Obr. 3 Pohled z okna letadla přes VCASS. Zdroj: [5]

Stíhací pilot musí podávat výkon i pod extrémně vysokými úrovněmi stresu (jak psychického, tak fyzického), a zároveň musí asimilovat a zpracovat velké množství dat. Furnessova práce [4] se zabývala většinou hlavních problémů ve virtuální realitě – nezávisle na tom, zda šlo o vojenskou aplikaci či nikoli.

Dále obecně platí, že práce na leteckých simulátorech také vedla k mnohem lepšímu pochopení technických požadavků, na kterých je virtuální realita založena. Simulátory založené na virtuální realitě jsou účinné pouze tehdy, pokud je zážitek z pohledu účastníka co nejvíce podobný reálnému světu. Některé komerční simulátory (ne nutně letecké) už tyto problémy dokáží částečně řešit, nicméně takové simulátory mají velice vysoké pořizovací náklady. Aby byl simulátor založený na virtuální realitě úspěšný a použitelný pro každého, je třeba dosáhnout podobné věrnosti za zlomek nákladů.

Požadavky na realističnost tak již od počátků zahrnují následující body (dle zdroje [1]):

- vysoká rychlost aktualizace pixelů
  - pokud možno alespoň 30 FPS
- krátká doba prodlevy
  - aby nebylo patrné zpoždění mezi pohybem člověka a vytvořením nových vizuálů

- věrné sekundární vizuální podněty
  - stíny, textury, okolí
- techniky pro management a efektivní zobrazování složitého environmentu
- zpětná vazba

S konceptem současné virtuální reality přišli Dr. Mike McGreevy a Jim Humphries z NASA [6] v roce 1984. Tento přístroj nesl název VIVED (Virtual Visual Environment Display). McGreevy a Humphries s tímto systémem hodnotili potenciál monochromatického zobrazovacího systému na hlavě pro budoucí astronauty.

Později bylo v projektu VIEW (Virtual Interactive Environment Workstation) vyvinuto univerzální, multisenzorické, osobní zařízení (obr. 4). Konfigurace tohoto zařízení zahrnovala sledování pohybů hlavy a rukou, monochromatické širokoúhlé stereo displeje nasazené na hlavě, rozpoznávání řeči, trojdimenzionální audio výstup a sledované rukavice. [1] Tento přístroj se už začínal podobat dnešním moderním náhlavním soupravám.



Obr. 4 Přístroj VIEW. Zdroj: [7]



### 1.3 Obecné výhody, typy a využití virtuální reality v různých odvětvích

S virtuální realitou se v dnešní době můžeme setkat v mnoha oblastech. V této kapitole jsou rozebrány výhody virtuální reality a hlavní oblasti, kde se tato technologie využívá.

Mezi největší výhody virtuální reality patří fakt, že je možno nasimulovat jakékoliv okolí a mnoho činností, což může ušetřit čas i peníze.

Mezi hlavní výhody virtuální reality lze podle [8] zařadit následující:

- Technické systémy mohou mít mnoho součástí, které jsou buď příliš malé nebo příliš velké. Virtuální realita umožňuje uživateli pozorovat či ovládat tuto součást/funkci ve zvětšeném či zmenšeném měřítku.
- Umožňuje uživateli ovládat čas – zrychlit průběh nějakého procesu, či ho naopak zpomalit pro lepší pochopení.
- Virtuální prostředí je mnohem bezpečnější než skutečný svět. Používá se tedy například ke zlepšení vzdělávání a školicích nástrojů. Virtuální realita propojuje realismus s interaktivitou pro studenty.
- Většina systémů ve virtuální realitě dává uživatelům příležitost opakovat určitý úkol, dokud uživatel nesplní tento úkol na požadované úrovni a s požadovanými dovednostmi.
- Poskytuje uživatelům možnost pozorování a sledování různých procesů a dějů z mnoha pohledů.
- Nevyžaduje, aby uživatelé, kteří spolu chtějí interagovat, byli na stejném místě. Každý může být například v jiné zemi.

Výhody a nevýhody každého typu virtuální reality závisí na tom, jaké aplikace používá. Některé aplikace jsou velice užitečné, pokud jsou implementovány ve formě „plného pohlcení“, zatímco jiné aplikace je vhodnější implementovat v jiných formách („částečně pohlcující“ nebo „nepohlcující“).

Nepohlcující formy virtuální reality jsou typicky obrazovky stolního počítače nebo notebooku, které uživateli představují virtuální prostředí, ale uživatel nezažívá pocit, že je skutečně ve virtuálním prostředí; tato forma nezakrývá celé zorné pole uživatele. [9] Přestože tyto systémy poskytují nižší úroveň pohlcení i interakce, mohou dosáhnout uspokojivé úrovně

grafické kvality, uživatelského komfortu a pohodlí. [8] Tato forma je také obecně vzato nejlevnější.

Částečně pohlcující formy virtuální reality poskytují uživatelům částečné virtuální prostředí, se kterými mohou interagovat. Tento typ virtuální reality se používá hlavně pro vzdělávací a školicí účely, ale i v zábavním průmyslu. K projekci se používají velké projektorové systémy či několik obrazovek vedle sebe. [9] Tato forma si zachovává jednoduchost desktopového systému, ale s vyšší úrovní pohlčení a s využitím fyzických modelů. [8] Příklad ilustruje obr. 5. Tato forma je dražší než nepohlcující forma, nicméně bývá stále levnější než plně pohlcující forma.



*Obr. 5 Částečně pohlcující forma virtuální reality. Zdroj: [10]*

Plně pohlcující virtuální realita vyžaduje, aby měl uživatel na sobě náhlavní soupravu, která sleduje pohyby hlavy uživatele a následně mění obraz, který je uživateli prezentován [8], viz obr. 6. Plně pohlcující forma je tedy digitální technologie, která uživatelům umožňuje zažít virtuální prostředí, které se blíží skutečnému světu – uživatelé vnímají virtuální, počítačem generované okolí pomocí vizuálních, sluchových a haptických prvků, které se přenášejí do vědomí uživatele obvykle ve formě displeje nasazeném na hlavě a sluchátek a ovladačů, které uživatel drží v ruce. [9] Jedná se často o nejdražší formu virtuální reality. Pro další potřeby této diplomové práce bude použita plně pohlcující varianta virtuální reality.



*Obr. 6 Plně pohlcující forma virtuální reality. Zdroj: [11]*

Zdokonalování softwaru a hardwaru v poslední době vede k vývoji a zdokonalování technologie virtuální reality a její aplikace. Aplikace virtuální reality je rozebrána v podkapitolách níže, ve kterých jsou ilustrovány možnosti použití této technologie a její vhodnost podle oblasti aplikace.

### 1.3.1 Vzdělávání, trénink a odborná příprava

Virtuální realita je vhodná pro vzdělávání či výcvik. V minulosti byly vyvinuty různé simulátory pro mnohé typy úkolů, jako je řízení letadel, ponorek, elektráren, tanků, vrtulníků, lodí, jeřábů, vlaků, automobilů či řízení letového provozu. [8]

### 1.3.2 Medicína

Jedním z nejdůležitějších a nejpraktičtějších způsobů použití virtuální reality je, že ji lze v oblasti medicíny [8] použít pro různé úkoly, včetně neurovědy, molekulárního modelování, léčby fóbií, ultrazvukové echografie a dalších. Využitím virtuální reality se může dosáhnout

jak nákladových, tak časových úspor. Další oblastí využití v medicíně jsou simulované výcviky [8], které lze použít k rozvoji chirurgických dovedností lékařů, přičemž hlavní výhodou je, že se nikomu nemůže nic stát.

### 1.3.3 Zábava a sport

Dá se říci, že virtuální realita se uplatňuje i v oblasti sportu, např. lze hrát golf pomocí velkých projekčních pláten, s pomocí kterých musí golfista nasměrovat svůj míček na virtuální green. Kromě toho může například cyklista použít virtuální realitu ke zlepšení vizuálního zážitku při používání rotopedu pomocí velkých projekčních pláten, které mění zobrazení okolní krajiny podle rychlosti daného cyklisty. V dnešní době začínají i televizní kreslené filmy [8] využívat virtuální realitu v reálném čase, například Ratz the Cat od televizní stanice BBC.

### 1.3.4 Inženýrství a architektura

Jednou z nejdůležitějších oblastí použití virtuální reality je oblast inženýrství. Například na popisy konstrukčních součástí lze nahlížet jako na neživé výkresy nebo statické perspektivní projekce, přičemž je lze animovat do formy 3D modelu. Virtuální realita umožnila virtuálně vyrábět, zkoumat, shromažďovat a testovat komponenty [8] díky nízké ceně a časově nenáročné výrobě prototypu. Například architekti mohou pomocí virtuální reality vzít své klienty na procházku místnostmi nebo budovami, které právě navrhují, což umožní architektovi i klientovi získat první dojmy ohledně návrhu a umožní vizualizaci případných změn návrhu. Výhodou [8] použití virtuální reality místo běžných animací je, že divák není omezen na nastavenou cestu; virtuální budovu může volně prozkoumat.

### 1.3.5 Vizualizace dat

Vizualizace dat je použití grafiky pro reprezentaci informací ke zviditelnění určitých charakteristik nebo hodnot. Data jsou obvykle vizualizována za použití geometrických objektů, jako jsou např. šipky. Vizualizace dat ve virtuální realitě je tedy zvláště vhodná pro vizualizaci komplexních 3D datových sad [8], například ve výpočtové fluidní dynamice.

## 1.4 Výcvik pilotů v současné době

Letecký průmysl se vždy prezentoval důrazem na bezpečnost. V dnešní době je téměř veškerý výcvik pilotů prováděn v reálném letadle, případně na letových simulátorech, které ovšem nepoužívají plně pohlcující formu virtuální reality – setkat se můžeme nejvýše s částečně pohlcující formou, kde se používá replika kokpitu a pro projekci se používá velké plátno nebo několik monitorů vedle sebe. Pro další potřeby práce bude pojmem „virtuální realita“ myšlena plně pohlcující forma této technologie.

Student by měl v první řadě umět letadlo ovládat, tzn. stoupat, klesat, letět v horizontu a zatáčet, a také by měl umět úkony a postupy, které jsou s letem spojeny. Pokud jsou tyto dovednosti rozvinuty na zemi, zajistí to, že když student nastoupí do letadla, bude se moci soustředit na další dovednosti [14], jako jsou situační a prostorové povědomí, řešení problémů, řízení pracovní zátěže a efektivita nebo komunikace.

## 1.5 Potenciál virtuální reality v letectví

S postupným vylepšováním systémů virtuální reality však tato technologie začíná pronikat i do leteckého průmyslu, kde může dále přispět ke zvyšování bezpečnosti. Může potenciálně například pomoci pilotům-studentům přímo zlepšit některé dovednosti.

S uvedením hardwaru pro virtuální realitu (například Oculus Rift, HTC Vive, Samsung HMD Odyssey a další) pro spotřebitele na trh si výhody této technologie našly cestu do mnoha aplikací. Hlavním přínosem virtuální reality pro letecký výcvik je pohlcující znázornění letového zážitku, které přináší možnost využít nové výukové výhody oproti tradičním leteckým simulátorům. Virtuální realita nabízí nové možnosti, jak výrazně zlepšit výuku a učení, protože předměty lze vyučovat velmi odlišným způsobem než čtením učebnice nebo poslechem lektora. Mezi klíčové výhody tak můžeme uvážit snížení nákladů na výcvik či úsporu nákladů na přeškolení na nový typ letounu. [12] Tyto a další výhody lze shrnout do následujících bodů:

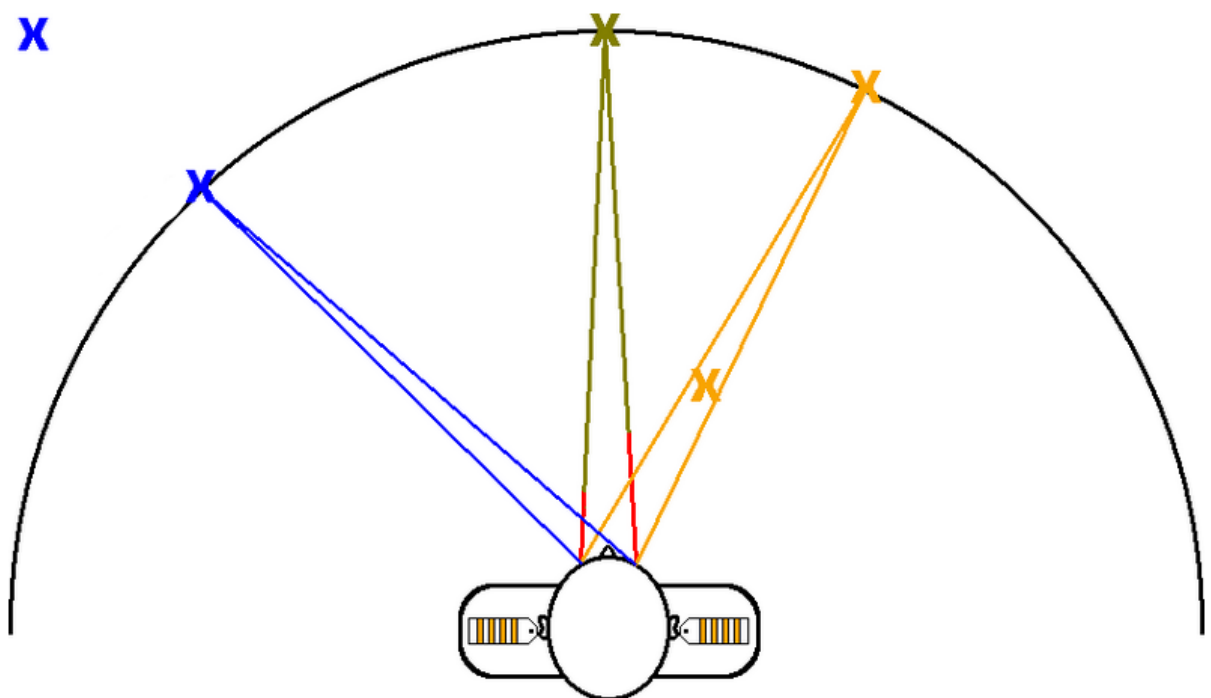
**Uchování znalostí:** Jedním z nejdůležitějších aspektů učení je uchování znalostí [12] – schopnost zapamatovat si, co se člověk naučí. To platí zejména pro letovou posádku, která si musí zapamatovat desítky kontrolních seznamů, úkonů, pravidel a postupů.

**Vnímání hloubky a vzdálenosti:** Schopnost správně odhadnout vzdálenost je důležitým cílem v leteckém výcviku. Zkušený pilot dokáže lépe posuzovat vzdálenosti díky svým rozsáhlým

zkušenostem s posuzováním vzdáleností. Nový pilot tyto zkušenosti postrádá a musí si je vybudovat praxí. Tento aspekt leteckého výcviku je obtížné trénovat na tradičních simulátorech, kde je obtížné věrně nasimulovat vnímání hloubky. Je to proto, že plátno, na které je promítán vnější svět, je umístěno v pevné vzdálenosti od očí pilota [12] a každý objekt promítaný na plátno se zdá být ve stejné vzdálenosti od pilota.

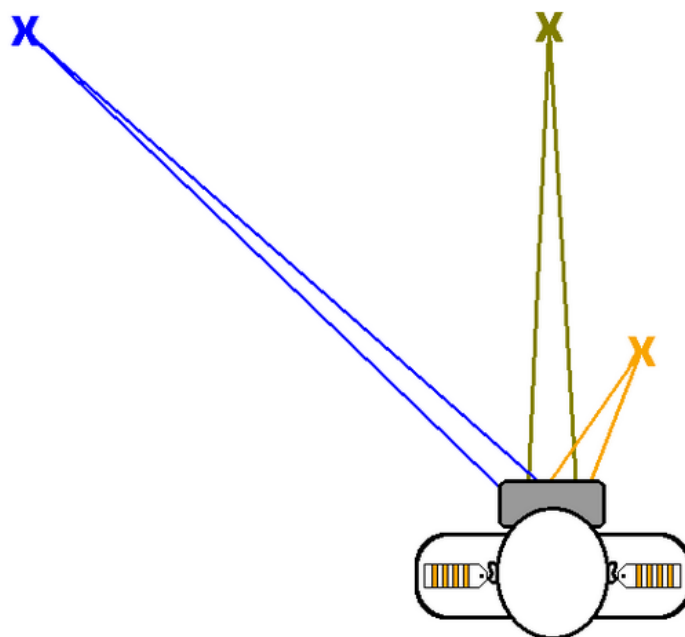
Brýle pro virtuální realitu nabízejí dvě stereoskopické obrazovky, které zobrazují dva mírně odlišné obrazy té stejné scény, což poskytuje vnímání hloubky a vzdálenosti stejným způsobem, jakým jsou lidé schopni posoudit vzdálenost přirozeným, stereoskopickým viděním. Virtuální realita je tedy schopna přesně a intuitivně reprezentovat vzdálenosti [12], kde je tento aspekt zásadní, a to zejména při nácvičku přiblížení a přistání.

Obrázky 7 a 8 ilustrují rozdíl ve vnímání vzdálenosti mezi zakřivenou obrazovkou obvykle používanou v tradičních leteckých simulátorech a brýlemi pro virtuální realitu.



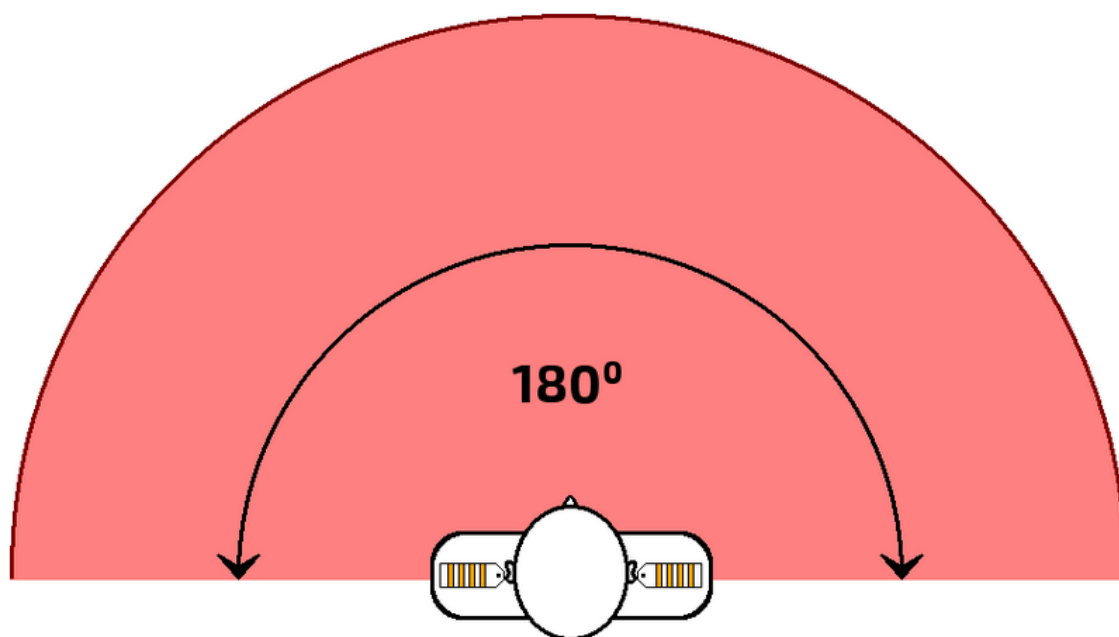
Obr. 7 Vnímání vzdálenosti na zakřivené obrazovce. Zdroj: [12]

Tři objekty označené modrým, zeleným a žlutým X jsou na zakřivené obrazovce promítnuty ve stejné vzdálenosti, zatímco ve virtuální realitě se zdají být ve správné vzdálenosti od pozorovatele. Jinými slovy, cíle vzdálenější od pozorovatele, než je zakřivená obrazovka, se jeví blíže (modré X), zatímco cíle blíže k pozorovateli než obrazovka se jeví dále (oranžové X). Pouze když je cíl ve stejné vzdálenosti od pozorovatele jako obrazovka, bude vnímání vzdálenosti správné (zelené X).



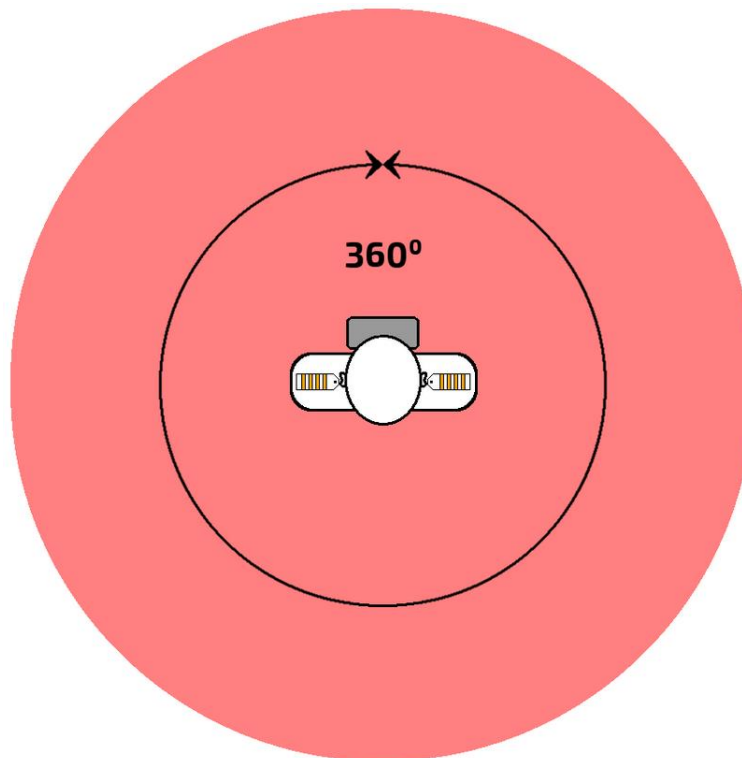
Obr. 8 Vnímání vzdálenosti ve virtuální realitě. Zdroj: [12]

**360° zorné pole:** Další důležitou věcí, kterou se musí každý pilot naučit, je udržovat si přehled o okolí letadla. Pilot se musí umět právně rozhlédnout kvůli sledování okolního provozu, zejména při letu na okruhu. Tradiční letecké simulátory (na obr. 9) mají zřídka zorné pole větší než 180° [12], což značně omezuje možnost provedení správného rozhlédnutí. V těchto simulátorech se piloti, kteří trénují, musí často uchýlit k alternativním referenčním metodám, jako je načasování svých zatáček, protože nemohou používat postupy, jaké by použili ve skutečném letadle.



Obr. 9 Zorné pole tradičního simulátoru. Zdroj: [12]

Brýle pro virtuální realitu však umožňují pilotovi podívat se jakýmkoli směrem (obr. 10). To znamená, že se student může dívat za hranice 180° zorného pole, které poskytují tradiční letecké simulátory, a je schopen provádět postupy stejným způsobem, jakým by to dělal ve skutečném letadle. [12]



Obr. 10 Zorné pole virtuální reality. Zdroj: [12]

**Škálovatelnost a modularita:** Nejdražší na leteckém simulátoru je samotný fyzický kokpit. Komponenty používané ke stavbě kokpitu je často nutné certifikovat [12], takže jsou poměrně drahé.

Ve virtuální realitě jsou – v závislosti na věrnosti simulace – fyzicky k dispozici pouze základní ovladače, zatímco zbytek kokpitu je znázorněn čistě počítačovou grafikou. To je nejen mnohem levnější na výrobu, ale také to umožňuje, aby mohl být simulátor během několika sekund „přestavěn“ [12] na úplně jiné letadlo. Pro letecké školy provozující více než jeden typ letadla to má tu výhodu, že společnosti stačí investovat pouze do jednoho simulátoru, který dále může používat pro všechny typy letadel, které provozuje.



## 1.6 První simulátor na bázi virtuální reality certifikovaný EASA

EASA (Agentura Evropské unie pro bezpečnost letectví) v dubnu 2021 certifikovala [15] první simulátor založený na virtuální realitě. Toto zařízení je prvním tréninkovým řešením na bázi virtuální reality na světě, které získalo certifikaci, která umožňuje pilotovi započítat si letovou dobu [13] k získání kvalifikací.

Toto zařízení je určené pro piloty letadel s pohyblivými nosnými plochami a zvyšuje bezpečnost díky tomu, že otevírá možnost nácviku riskantních manévřů v bezpečí virtuálního prostředí (pohled zvenku na simulátor naskýtá obr. 11). Jedná se o klíčovou rizikovou oblast provozu letadel s pohyblivými nosnými plochami, protože statistiky [15] ukazují, že přibližně 20 % nehod se stane během letů pro nácvik potenciálně nebezpečných situací.



*Obr. 11 Simulátor na bázi virtuální reality. Zdroj: [13]*

Vhodnost koncepce virtuální reality byla ověřena prostřednictvím programu hodnocení výcviku [15], do kterého byli zapojeni piloti, včetně letových instruktorů vrtulníků a zkušebních pilotů, a národní úřady pro civilní letectví. Toto hodnocení potvrdilo vhodnost konceptu virtuální reality pro tréninkové účely [15], a to zejména pro režimy jako je autorotace, visení a přistání do svahu.

Protože se jedná o první certifikaci letového simulátoru založeném na virtuální realitě, musel být proces certifikace aplikovaný EASA upraven tak, aby byla zajištěna ekvivalentní úroveň bezpečnosti v souladu s certifikačními specifikacemi pro letové simulátory. EASA použila zvláštní podmínky ze stávajících předpisů, které zohledňují specifika nové technologie – přizpůsobení kokpitu a přizpůsobení zobrazovacích a pohybových systémů. [15]

Zařízení je certifikované na úroveň trenažéru letových a navigačních postupů (FNPT) úrovně II a je určeno pro vrtulník Robinson R22 Beta II, což je celosvětově nejpoužívanější [15] vrtulník pro základní výcvik pilotů vrtulníků. Simulátor byl vyvinut pro letecké školy pro výcvik studentů, ale i pro zkušené piloty pro nácvik základních a nouzových kompetencí. Kokpit je plně funkční se všemi požadovanými ovládacími prvky. Pohyblivá platforma, 3D vizuální systém a realistické ovládání se simulovanými silami [13] vedou k velice realistickému zážitku z létání. Pohled z první osoby lze vidět na obr. 12.



*Obr. 12 Pohled do virtuálního kokpitu vrtulníku Robinson R22 Beta II. Zdroj: [13]*

Je však potřeba podotknout, že tento simulátor je určený pro vrtulníky, nikoliv letouny. Žádný simulátor určený pro letouny zatím certifikován nebyl, proto je téma této diplomové práce stále aktuální.

## 1.7 Limitace současného stavu

Jak již bylo zmíněno, v současné době neexistuje certifikovaný simulátor pro letouny, který by byl provozován na bázi virtuální reality, takže se není možné opřít o žádná existující data ohledně možnosti či efektivity takového výcviku.

Kvůli výše uvedené limitaci neexistují ani žádná data, která by bylo možné využít pro řešení v oblasti výcviku držitelů SPL (alespoň do úrovně přezkoušení na první sólo let v PPL výcviku).

## 2. METODIKA

Cílem experimentu je zjistit, jestli, případně do jaké míry, je virtuální reality využitelná pro pilotní výcvik. Konkrétním cílem je výcvik držitelů SPL za použití virtuální reality na takovou úroveň, aby dokázali ve virtuálním prostředí sami zaletět okruh v motorovém letounu, tzn. ekvivalent úlohy 14P [16] v osnově pro výcvik pro získání PPL. Tyto naučené dovednosti poté budou podrobeny zkoušce na reálném letounu a výsledky z virtuálního a reálného prostředí budou poté srovnány. Na základě těchto výsledků a srovnání pak bude vyhodnoceno, zdali je virtuální realita využitelná v praxi, případně v jakých oblastech přináší výhody či nevýhody.

Z výcvikové osnovy vycházející ze zdroje [17] byly vynechány úlohy zabývající se nouzovými postupy a bezpečnostním přistáním, protože v experimentu je prvořadě zjistit, zda je virtuální realita vůbec využitelná v základních letových úlohách. Ukáže-li se, že ano, pak je možné v budoucnu navázat dalším experimentem, který vezme do úvahy kompletní PPL výcvik do úrovně přezkoušení na první sólo let.

V dalších podkapitolách jsou rozebrány všechny podstatné aspekty experimentu, a to konkrétně:

- výběr účastníků
- výběr letiště
- výběr letounu
- výběr hardwaru pro simulátorový výcvik
- výběr softwaru pro simulátorový výcvik
- teoretický výcvik
- letová osnova
- sestavení dotazníků
- metodika vyhodnocení

## 2.1 Výběr účastníků

Experimentu se zúčastní 10 pilotů, držitelů SPL, s různými nálety a různým věkem. V tomto směru se tedy jedná o nehomogenní skupinu. Věkové rozpětí účastníků je 20 až 47 let, nálet účastníků se pohybuje mezi 40 a 461 hodinami a počet přistání se pohybuje mezi 194 a 430. Nikdo z těchto pilotů však nemá žádné zkušenosti s řízením motorového letadla ani jakéhokoliv motorového sportovního létajícího zařízení.

Autor vybral 10 účastníků z důvodu, že méně účastníků by přineslo méně dat (a z toho plynoucí menší vypovídací hodnotu experimentu), ale na druhou stranu, více účastníků není možno vycvičit jednak z důvodu časového omezení pro odevzdání této práce, a také z důvodu finančního rozpočtu ze strany autora, neboť si experiment (hardware, pronájem letounu, letecké poplatky, služby instruktora atp.) financuje sám. Práci autor pojmul jako pilotní studii a v závislosti na výsledcích pak může proběhnout další navazující výzkum.

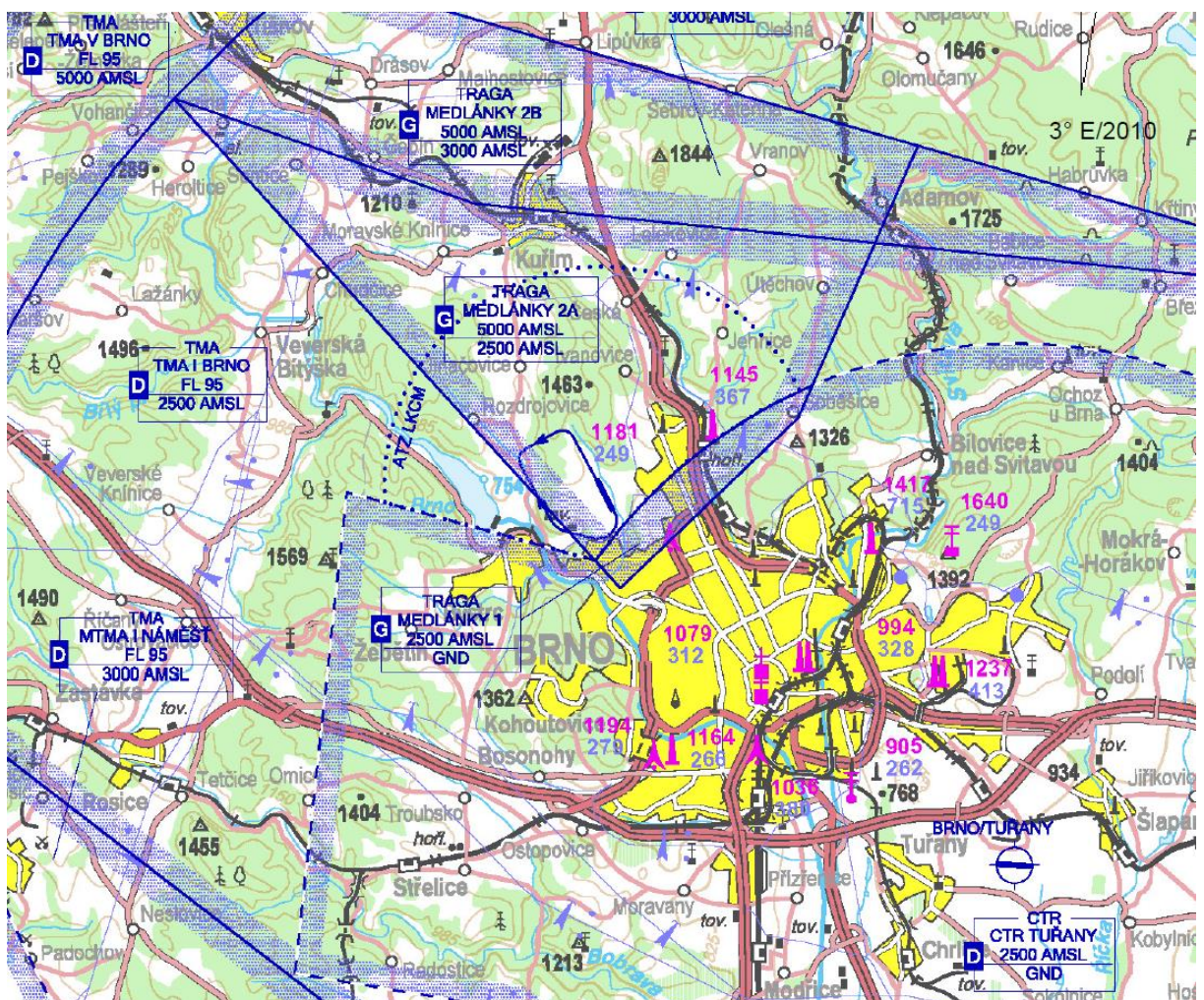
Všichni účastníci experimentu jsou členové Aeroklubu Medlánky. Autor pro svoji práci potřeboval piloty s kvalifikací SPL, a autor je zároveň členem Aeroklubu Medlánky, proto se možnost vybrat účastníky z tohoto spolku jevila jako nejvhodnější. Aby však byla vyloučena možnost ovlivnění experimentu přátelskými vztahy mezi účastníky a autorem této práce, na celý výcvik ve virtuální realitě i na létání ve skutečném letounu dohlíželi dva nestranní instruktoři, držitelé instruktorského oprávnění FCL.905.FI(A), jejichž hodnocení je pro tuto práci stěžejní, neboť se závěrečné hodnocení všech účastníků z velké části opírá o hodnocení právě těchto instruktorů.

Pro experiment byli vybráni dva zkušení letoví instruktoři. Jeden instruktor je veden jako primární a bude snaha odlétat s ním co nejvíce účastníků (v ideálním případě úplně všechny), ale pro případ komplikací (např. delší časová zaneprázdněnost, nepředvídatelné okolnosti atd.) byl vybrán sekundární/záložní instruktor. Tato metodika s využitím nejvýše dvou instruktorů byla vybrána i z důvodu, aby se minimalizovaly rozdíly v hodnocení, které by mohly být zapříčiněné mírně odlišným hodnocením každého instruktora (přeci jen se jedná o lidi, nikoliv stroje).

## 2.2 Výběr letiště

Bylo zváženo několik letišť, kde by se experiment mohl uskutečnit. Jak pro simulátorový výcvik, tak pro reálné létání bylo z provozních důvodů a díky dobré dostupnosti zvoleno letiště Medláňky (LKCM).

Letiště Medláňky se nachází na severozápadním okraji města Brna východně od Brněnské přehrady, jak lze vidět na obrázku 13. Jedná se o veřejné vnitrostátní letiště určené pro VFR provoz kluzáků, GA letadel a SLZ ve dne. Na letišti působí spolek Aeroklub Medláňky, který provozuje několik desítek kluzáků, několik SLZ a GA letadel a jehož členy tvoří převážně piloti kluzáků.



Obr. 13 Poloha letiště Medláňky s ohledem na okolní vzdušné prostory (ICAO mapa, měřítko 500 000:1). Zdroj: [18]

Letištní okruh je publikován s ohledem na blízkost CTR Tuřany, které se nachází ve vzdálenosti přibližně 500 m od konce RWY 16. V okolí letiště se nachází několik dalších řízených

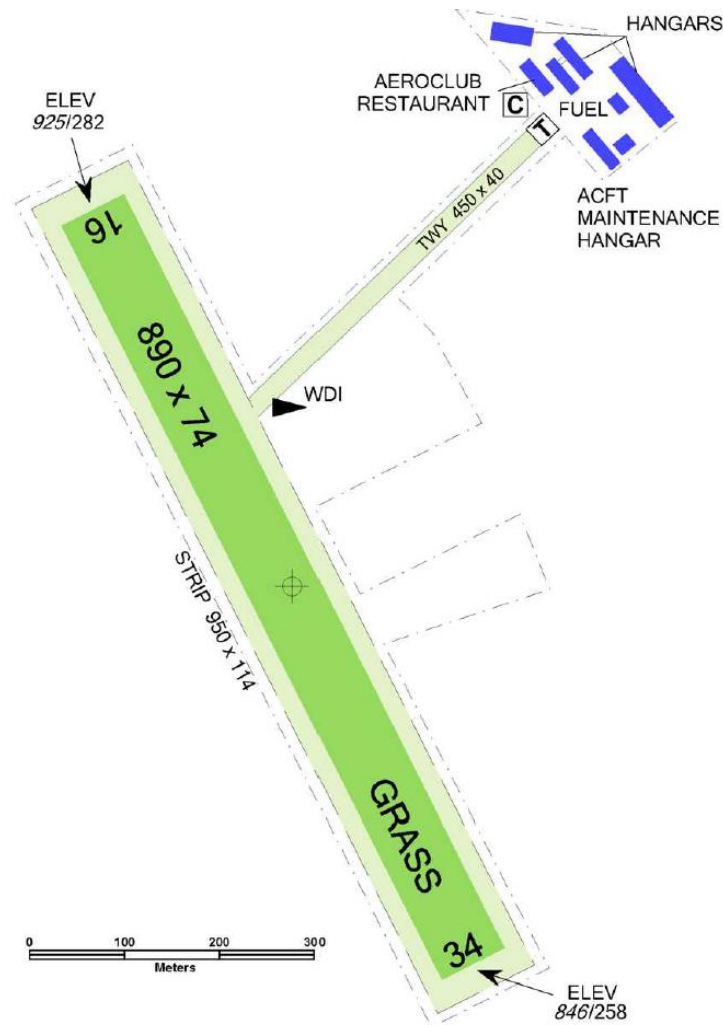
vzdušných prostorů, mezi nejvíce omezující (z pohledu experimentu) patří CTR Tuřany a TMA I Brno.

ATZ letiště Medlánky je v horizontálním směru omezeno přítomností CTR Tuřany, a velká část ATZ je tedy „ukrojena“ ve prospěch CTR Tuřany. Vertikálně pak ATZ sahá od země do výšky 2500 stop AMSL, kde je dále omezeno prostorem TMA I Brno. Pro účely plachtařského provozu však byly v nedávné době zavedeny vzdušné prostory TRA GA Medlánky 1, TRA GA Medlánky 2A a TRA GA Medlánky 2B. Tyto prostory lze v době provozu služby Medlánky RADIO aktivovat do hladiny 5000 stop AMSL. Pokud jsou aktivovány, změní se původní třída vzdušného prostoru (třída D – CTR Tuřany a TMA Brno) na třídu G a prostor je v gesci služby Medlánky RADIO.

Letiště má jednu RWY značenou 16/34 o rozměrech (platí pro RWY 16 i RWY 34):

- TORA: 890 metrů
- TODA: 920 metrů
- ASDA: 890 metrů
- LDA: 890 metrů
- šířka RWY: 74 metrů
- rozměry dráhového pásu:
  - délka: 950 metrů
  - šířka: 114 metrů

Letiště dále disponuje jednou TWY, několika hangáry, čerpací stanicí, restaurací a ukazatelem směru a rychlosti větru, který se nachází zhruba v jedné třetině RWY 16 po levé straně, jak lze vidět na obrázku 14.



Obr. 14 Mapa letiště Medláňky. Zdroj: [18]

## 2.3 Výběr letounu

Pro experiment byl vybrán letoun Cessna 172, protože se jedná o vynikající výcvikové letadlo a v době experimentu bylo několik kusů tohoto letounu k dispozici na letišti Medláňky nebo v blízkém okolí.

Letoun Cessna 172 je jednomotorový čtyřmístný celokovový hornoplošník s tříkolovým podvozkem s předovým kolem vyráběný americkou společností Cessna Aircraft Company. Letoun má pevnou, dvoulistou, kompozitovou vrtuli od výrobce McCauley. Letoun poprvé vzlétl v polovině 20. století a od té doby se stal nejpopulárnějším letounem v historii, protože se jedná o spolehlivý a bezpečný stroj s výbornými letovými vlastnostmi a jednoduchostí pilotáže, což dokazuje více než 43 000 vyrobených kusů [19] a titul nejpopulárnějšího letounu na světě.



Pro potřeby experimentu byly využity dva letouny Cessna 172, a to varianta C172M registrační značky OK-GKG a varianta C172N registrační značky OK-HKD. Letouny se liší jen minimálně, ale některé malé rozdíly mezi nimi lze nalézt. V tabulce 2 jsou uvedeny základní parametry obou letounů použitých v experimentu.

Tab. 1 Základní parametry letounů použitých v experimentu. Zdroj: provozní příručky obou letounů.

<b>Letoun:</b>	<b>Cessna 172M OK-GKG</b>	<b>Cessna 172N OK-HKD</b>
<b>Cestovní rychlost:</b>	119 KIAS	122 KIAS
<b>Maximální nepřekročitelná rychlost:</b>	160 KIAS	160 KIAS
<b>Pádová rychlost:</b>	44 KIAS	44 KIAS
<b>Objem palivových nádrží:</b>	42 USGAL	43 USGAL
<b>Dolet:</b>	460 NM	485 NM
<b>Dostup:</b>	13 100 ft	14200 ft
<b>Rychlost stoupání:</b>	645 ft/min	770 ft/min
<b>Maximální výkon:</b>	150 HP	160 HP
<b>Hmotnost prázdného letounu:</b>	1 335 lbs	1379 lbs
<b>Maximální vzletová hmotnost:</b>	2 300 lbs	2 300 lbs

Co se týká letových parametrů, oba letouny jsou si podobné do takové míry, že je možno je z pohledu experimentu prohlásit za stejné.

Cessna 172M OK-GKG má pouze základní výbavu pro VFR létání ve dne, jak můžeme vidět na obrázku 15. Pro účely tohoto experimentu nám však stačí, aby letoun měl pouze základní přístroje.



*Obr. 15 Pohled do kokpitu Cessny 172M OK-GKG. Zdroj: archiv autora.*

Zvenku se jedná o standardní Cessnu C172M, viz obrázek 16.



*Obr. 16 Cessna 172M OK-GKG. Zdroj: archiv autora.*

Cessna 172N OK-HKD je vybavená na lety podle IFR, nicméně tento fakt není podstatný, protože v experimentu budou žáci používat pouze ty stejné základní přístroje jako v letounu

OK-GKG. Pohled do kokpitu a pohled zvenku na letoun OK-HKD jsou na obrázku 17, resp. na obrázku 18.



*Obr. 17 Pohled do kokpitu Cessny 172M OK-HKD. Zdroj: archiv autora.*



*Obr. 18 Cessna 172M OK-HKD. Zdroj: archiv autora*

## 2.4 Výběr hardwaru pro simulátorový výcvik

Proces výběru hardwaru byl značně ulehčen, protože FD ČVUT disponuje univerzálním simulátorem pro GA letouny. Jeden účastník experimentu byl vycvičen na tomto simulátoru, ale poté bylo zjištěno, že autor disponuje stejným vybavením/simulátorem v Brně, a tak bylo zbývajících 9 účastníků vycvičeno v Brně.

Pro výcvik byl využit hardware uvedený v podkapitolách níže.

### 2.4.1 Berany a ovladač přípusti

Jako berany a ovladač přípusti byl použit produkt Flight Yoke System and Throttle Quadrant od společnosti Logitech (viz obrázek 19) s následujícími parametry (body byly sepsány dle zdroje [20]):

- berany: ovládání je plynulé, berany ovšem nemají „force feedback“, ale pouze pružinu, která vrací berany do výchozí polohy
- panel ovladačů přípusti: ovládání přípusti je plynulé, ovšem směr pohybu ovladačů není zcela shodný s ovladačem ve skutečném letounu



Obr. 19 Flight Yoke System and Throttle Quadrant. Zdroj: archiv autora.

## 2.4.2 Pedály

Jako pedály byl použit produkt T.Flight Rudder Pedals od společnosti Thrustmaster (viz obrázek 20) s následujícími parametry (body byly sepsány dle zdroje [21]):

- pedály jsou pohyblivé okolo 2 os (jedna osa pro výchyly směrového kormidla a druhá osa pro aktivaci brzd na podvozku letounu)



*Obr. 20 T.Flight Rudder Pedals. Zdroj: archiv autora.*

## 2.4.3 Náhlavní souprava pro virtuální realitu

Jako náhlavní souprava pro virtuální realitu byl použit produkt Samsung HMD Odyssey+ od společnosti Samsung (viz obrázek 21) s následujícími parametry (body byly sepsány dle zdroje [22]):

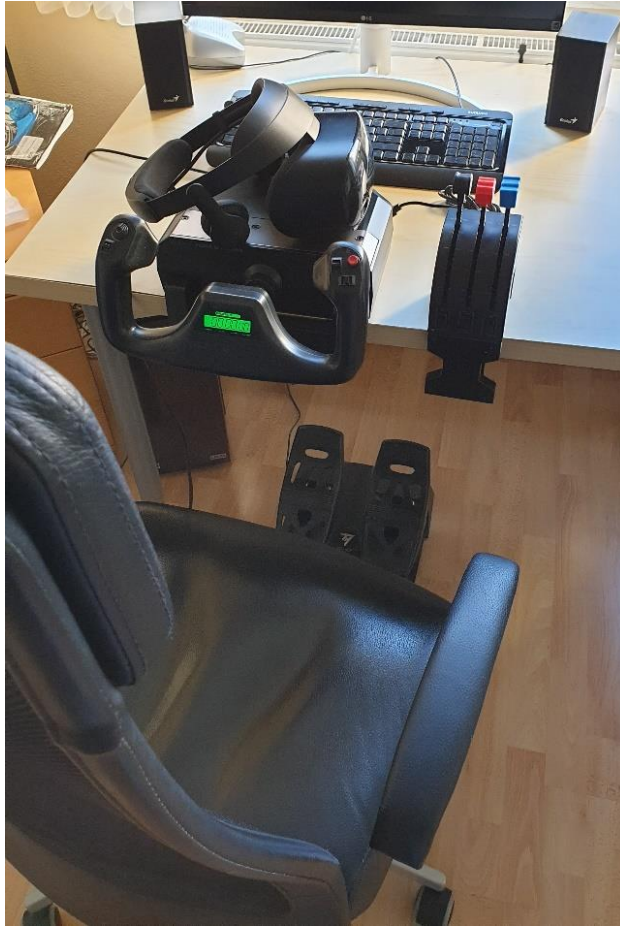
- displej: dva 3,5palcové Anti-SDE AMOLED displeje s rozlišením 1440 na 1600 pixelů
- obnovovací frekvence displeje: 60 Hz
- zorné pole: 110°
- zvuk: vestavěná stereo sluchátka
- sledování pohybů: pomocí vestavěných kamer v náhlavní soupravě

- rozměry:
  - délka: 10,9 cm
  - šířka: 19,4 cm
  - výška: 12,9 cm
- hmotnost: bez kabelu 590 g (+ kabel o hmotnosti 200 g)



*Obr. 21 Samsung HMD Odyssey+. Zdroj: archiv autora.*

Hardware byl rozmístěn tak, aby co nejlépe odpovídal umístění ovladačů ve skutečném letounu, viz obrázek 22.



Obr. 22 Výsledná sestava pro simulátorový výcvik. Zdroj: archiv autora.

## 2.5 Výběr softwaru pro simulátorový výcvik

Tento bod byl, podobně jako výběr hardwaru, také značně ulehčen, protože simulátor na FD ČVUT využíval programu X-Plane 11. Autor má v Brně také přístup k tomuto programu, a tak byl pro tento experiment zvolen software X-Plane 11.

X-Plane 11 je komplexní a výkonný letecký simulátor a nabízí velice realistický letový model počítaný v reálném čase [23] a obsahuje simulaci podzvukové i nadzvukové dynamiky letu, což uživatelům umožňuje simulovat letové vlastnosti pomalých i rychlých letadel. Není to počítačová hra, ale inženýrský nástroj, který lze použít k simulaci letových vlastností letadel s velice vysokou přesností. X-Plane 11 dokáže simulovat výkonnost a ovladatelnost téměř jakéhokoli letadla [23], a tak je to skvělý nástroj pro použití v simulátoru, který se chová jako skutečné letadlo.

Scénérie v X-Plane 11 pokrývá planetu Zemi v detailním rozlišení od 74 stupňů severní šířky do 60 stupňů jižní šířky. K dispozici je více než 35 000 letišť či heliportů. [23]

Počasí v X-Plane 11 lze měnit od jasné oblohy a dobré viditelnosti až po bouřky s nastavitelným větrem, stříhem větru, turbulencemi a microbursty. [24] Pro kluzáky je k dispozici termika. Z internetu lze také stáhnout aktuální povětrnostní podmínky, což uživatelům umožňuje létat v počasí, které skutečně existuje ve skutečném světě v daném místě a čase.

X-Plane 11 dále nabízí podrobné modelování poruch mnoha systémů, které mohou selhat buď ručně na příkaz instruktora, nebo náhodně. [24] Uživatelé mohou kdykoli selhat přístroje, motory, ovládací prvky, antény, přistávací zařízení nebo jakýkoli z desítek dalších systémů. Instruktor může také měnit denní dobu, povětrnostní podmínky a poruchy stovek leteckých systémů a jejich součástí. Kromě toho může instruktor kdykoli přemístit letadlo na jakékoliv místo podle potřeby.

X-Plane 11 lze použít v široké řadě situací, od domácího použití až po komerční letecký výcvik v certifikovaných simulátorech. X-Plane 11 používají přední světoví dodavatelé, letectvo, výrobci letadel, a dokonce i vesmírné agentury [24] pro použití od letového výcviku až po návrh koncepce a letové testování. Běžně dostupná verze X-Plane 11 ale není hned po vybalení certifikována pro letecký výcvik [24], protože certifikace vyžaduje kombinaci softwaru a hardwaru. Software, který je široce dostupný v obchodech, je však téměř totožný s tím, co se nachází v profesionálních simulátorech za desítky až stovky milionů Kč.

Vzhledem k výběru letounu Cessna 172 v kapitole „Výběr letounu“ byla i pro výcvik v simulátoru X-Plane 11 vybrána Cessna 172, kterou můžeme vidět na obrázku 23 na simulovaném letišti Medlánky.



Obr. 23 Cessna 172 v simulátoru X-Plane 11. Zdroj: archiv autora, snímek obrazovky ze softwaru X-Plane 11.



Na obrázku 24 je k dispozici pohled z kokpitu Cessny 172 v simulátoru X-Plane 11.



Obr. 24 Kokpit Cessny 172 v simulátoru X-Plane 11. Zdroj: archiv autora, snímek obrazovky ze softwaru X-Plane 11.

## 2.6 Teoretický výcvik

Všichni lidé účastníci se experimentu jsou držiteli SPL, tzn. již před započítím experimentu měli určité znalosti v oblasti létání. Žáci byli před započítím výcviku na simulátoru seznámeni zejména s funkcí a ovládáním pohonné jednotky letounu a byli též seznámeni s rozdíly v postupech, chování a ovladatelnosti letounu a kluzáku. Důraz byl kladen zejména na postupy při letu na okruhu.

Žákům byl proveden výklad předmětů Letové zásady, Provozní postupy, Provedení a plánování letu a Obecné znalosti o letadle (dle [25]) pod vedením letového instruktora. Poté byl ponechán prostor pro diskuzi a zodpovězení případných otázek. Rozdíly v postupech, chování a ovladatelnosti letounu a kluzáku byly následně žákům názorně předvedeny na simulátoru.

## 2.7 Letová osnova

Osnova výcviku uvedená v tabulce 2 je vypracována na bázi tzv. competency based výcviku a byla vytvořena za pomoci zdroje [17], přičemž byl upravena s ohledem na požadavky EASA Part-FCL. Žáci tedy v osnově nemají daný minimální počet hodin a počet přistání, které musí odlétat/splnit, ale jejich dovednosti jsou hodnoceny průběžně na základě postupného učení se a zlepšování se. Jakmile dosáhnou v určité úloze takové úrovně dovedností, že lze prohlásit, že se danou úlohu naučili provádět bezpečně a spolehlivě, pak je možné pokročit k další úloze. Je tedy možné a předpokládá se, že mezi danými 10 účastníky experimentu budou nemalé rozdíly v době strávené ve výcviku, nicméně se také předpokládá, že výstupní dovednosti všech pilotů budou na stejné úrovni.

Osnova v tabulce 2 také zahrnuje sloupce „blok“, „trénink“ a „bezpečné provedení“. U každé úlohy instruktor hodnotí žáka symbolem „fajfky“, kterou žák dostane po úspěšném absolvování daného bodu osnovy.

Osnova je rozdělena do 4 bloků, aby měl žák jednodušší představu, co všechno bude trénovat a po kterých úlohách je vhodné si dát přestávku, případně po které úloze je vhodné skončit a navázat v jiný den. Sloupec „blok“ tedy označuje rozdělení letové osnovy na 1., 2., 3., a 4. blok, kde:

- 1. blok je zaměřen na vzlet, převedení letounu ze vzletové konfigurace do čisté konfigurace, stoupání, klesání a přímočarý let bez zatáčení.
- 2. blok je zaměřen na zatáčení.
- 3. blok je zaměřen na manévrování při pomalém letu, zábranu pádu a ukázkou stability letounu.
- 4. blok je zaměřen na klesání, převedení letounu z čisté konfigurace do přistávací konfigurace, přiblížení a přistání.

Do sloupce „trénink“ bude uděleno kladné hodnocení ve chvíli, kdy žák chápe podstatu úlohy, dokáže ji samostatně částečně zaletět a ví, co zlepšovat a na čem pracovat, ale ještě se nedá říci, že by provedení bylo zcela bezpečné nebo že by žák byl schopen danou úlohu zaletět bezpečně několikrát za sebou.

Do sloupce „bezpečné provedení“ bude uděleno kladné hodnocení ve chvíli, kdy žák demonstruje, že je schopen danou úlohu zaletět zcela samostatně, bezpečně a několikrát za sebou (aby byla vyloučena možnost, že náhodně zaletí úlohu dobře). Jakmile instruktor

vyhodnotí, že žák úlohu stabilně a bezpečně zvládá, udělí žákovi možnost postoupit k další úloze.

Tab. 2 Osnova pilotního výcviku ve virtuální realitě.

<b>Blok</b>	<b>Úloha</b>	<b>Trénink</b>	<b>Bezpečné provedení</b>
<b>1</b>	Vzlet a stoupání <i>Žák udržuje vzletový výkon a <math>V_y +10/-5</math> uzlů, aplikuje korekci směrového kormidla pro stáčení letounu vlivem gyroskopického momentu a aplikuje korekci křidélek pro rovný let ve stoupání.</i>		
<b>1</b>	Samovolné zatačení při stoupání <i>Žák aplikuje korekci směrového kormidla během stoupání pro udržení rovného koordinovaného letu.</i>		
<b>1</b>	Použití vyvážení <i>Žák používá podélné vyvážení po dosažení požadovaného režimu letu a eliminaci sil v řízení.</i>		
<b>1</b>	Převedení letounu ze stoupání do vodorovného letu <i>Žák nastaví podélný sklon, upraví výkon motoru podle potřeby a poté podle potřeby letoun podélně vyváží.</i>		
<b>1</b>	Vodorovný přímočarý let <i>Žák používá vnější reference (skutečný horizont a konce křídel) k udržování vodorovného přímočarého letu s tolerancí <math>\pm 100</math> stop.</i>		

1	<p>Stoupání a klesání</p> <p><i>Žák používá správné techniky pro převedení letounu do stoupání a klesání a nastavení výkonu motoru.</i></p>		
1	<p>Stoupání a klesání konstantní rychlostí</p> <p><i>Žák nastaví konstantní výkon motoru a k ovládní rychlosti letounu používá výškové kormidlo.</i></p>		
2	<p>Koordinované zatáčení</p> <p><i>Žák využívá všechna kormidla letounu k nácviku koordinovaných zatáček do náklonu 20°.</i></p>		
2	<p>Přitažení výškového kormidla v zatáčce</p> <p><i>Žák využívá přitažení výškového kormidla během zatáčení k udržení výšky a uvolňuje přitažení výškového kormidla při ukončení zatáčení, aby zabránil nechtěnému stoupání letounu.</i></p>		
2	<p>Koordinace kormidel při větších náklonech</p> <p><i>Žák udržuje 30° náklon při zachování úrovně přídě letounu k horizontu v konkrétním úrovni prostřednictvím koordinovaného použití všech kormidel.</i></p>		
	<p>Zatáčení s důrazem na udržování vybraných letových parametrů</p> <p><i>Žák udržuje výšku (tolerance +/- 150 stop), udržuje rychlost (tolerance +/- 10 uzlů), udržuje</i></p>		

	<i>náklon (tolerance <math>\pm 5^\circ</math>) a zastaví zatáčení na předem daném kurzu (tolerance <math>\pm 20^\circ</math>)</i>		
<b>2</b>	Uvedení a ukončení zatáčky  <i>Žák uvede a ukončí zatáčku s důrazem na hladké provedení manévru bez trhavých či zbrklých pohybů.</i>		
<b>2</b>	Stoupavé a klesavé zatáčky  <i>Žák využívá správné řídicí vstupy pro udržení koordinovaného letu.</i>		
<b>3</b>	Ukázka stability letounu  <i>Žák sleduje stabilitu letounu při vyrušení z vodorovného přímočarého letu (turbulence, zásah instruktora do řízení).</i>		
<b>3</b>	Manévrování při pomalém letu  <i>Žák dokáže uvést pomalý let a dostat se z něj zpět na vyšší rychlost pomocí správných postupů. Důraz je kladen na udržování výšky (tolerance <math>\pm 250</math> stop).</i>		
<b>4</b>	Klesání s motorem na volnoběžných otáčkách na optimální rychlosti pro klouzání  <i>Žák udržuje rychlost (tolerance <math>\pm 10</math> uzlů) a všímá si vertikální rychlosti.</i>		
<b>4</b>	Klesání rychlostí přiblížení v přistávací konfiguraci		

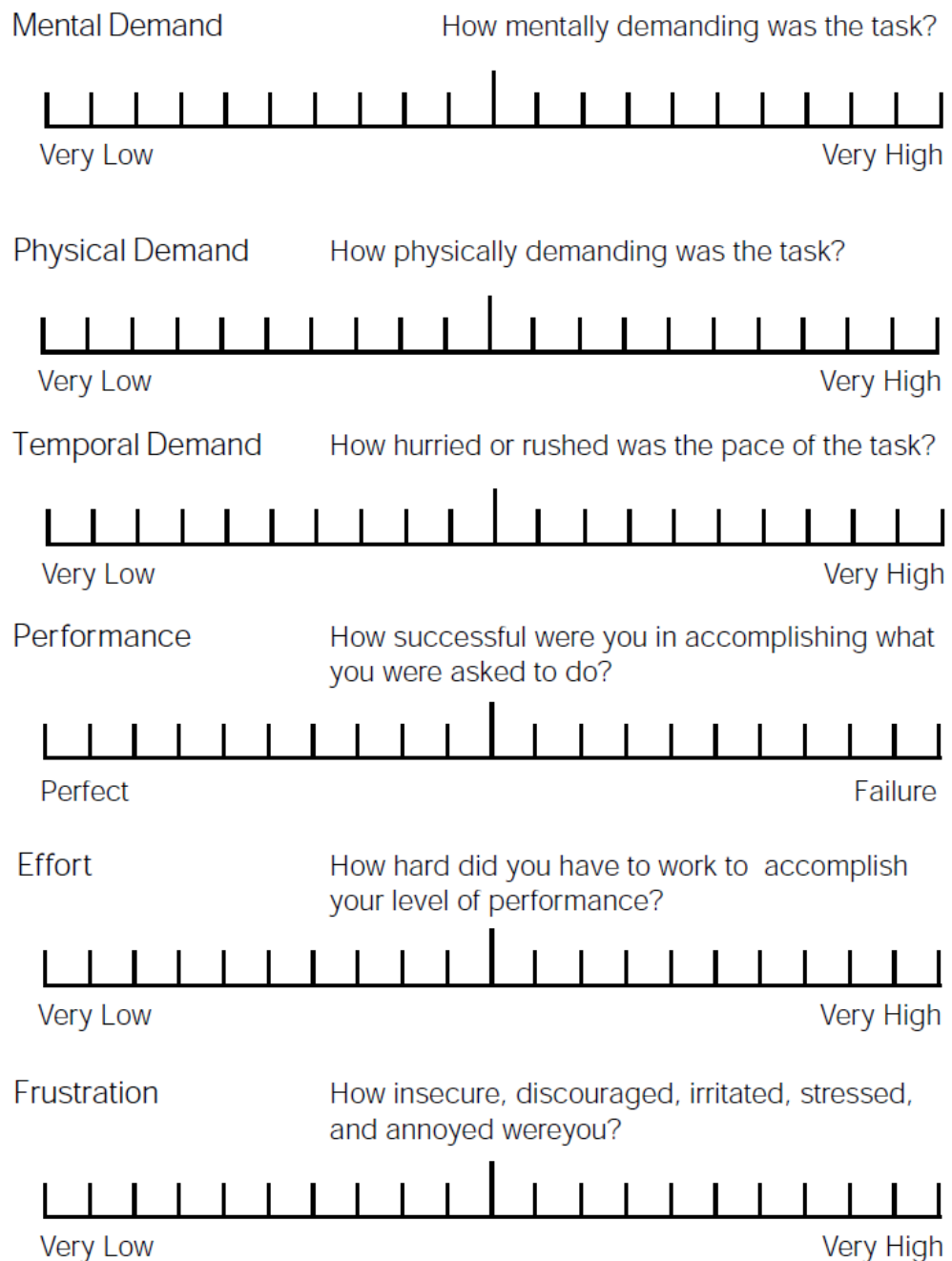
	<i>Žák udržuje rychlost (tolerance +/- 10 uzlů) a všimá si pozice přídě letounu vůči skutečnému horizontu.</i>		
<b>4</b>	<p>Přiblížení a přistání</p> <p><i>Žák udržuje rychlost (tolerance +10/-5 uzlů) a používá vhodné nastavení podélného sklonu letounu a výkonu motoru.</i></p>		
<b>4.</b>	<p>Okruhy</p> <p><i>Žák zaletí kompletní okruh, aplikuje nabyté znalosti a dovednosti a udržuje letoun v bezpečných limitech.</i></p>		

Některé úlohy lze hodnotit (a je to i žádoucí) při jednom a tom samém letu, například úlohu „Vzlet a stoupání“ a úlohu „Samovolné zatáčení při stoupání“, protože se jedná o nácvik postupů a dovedností, které se vzájemně doplňují a které by bylo zbytečně obtížné a neefektivní trénovat zcela samostatně.

Po splnění osnovy žáci zaletí 3 „měřené“ okruhy ve virtuální realitě. Poté dostanou možnost zaletět 3 okruhy ve skutečném letounu. Tyto okruhy pak budou srovnány a bude vyhodnoceno, do jaké míry je virtuální realita využitelná v praxi.

## 2.8 Sestavení dotazníků

Pro možnost zhodnocení postupu budou žákům v určitých fázích experimentu poskytovány vhodné dotazníky. Tyto dotazníky reflektují subjektivní pocity žáků. Objektivní hodnocení bude poskytnuto letovým instruktorem. Tato hodnocení poté budou porovnána spolu s výkonem žáka jak na simulátoru, tak i ve skutečné letounu. Z těchto dat poté budou vyvozeny závěry. Po ukončení výcviku na simulátoru a po reálném letu účastníci dostanou dotazník NASA Task Load Index (viz obrázek 25) a dva autorem sestavené dotazníky.



Obr. 25 NASA Task Load Index. Zdroj: [26]

Dotazník, který účastníci dostali po ukončení tréninku na simulátoru:

***Splnil simulátor Vaše očekávání?***

*Ano*

*Spíše ano*

*Spíše ne*

*Ne*

***Jak byste ohodnotil svoji připravenost na let reálným letadlem na škále od 1 (cítím se dobře připraven) do 5 (nevím vůbec nic)?***

*1*

*2*

*3*

*4*

*5*

***Myslíte si, že zvládnete samostatně alespoň 1 přistání v reálném letadle ohodnocené instruktorem jako bezpečné?***

*Ano*

*Spíše ano*

*Spíše ne*

*Ne*

Dotazník, který účastníci dostali po reálném letu:

***Jak byste ohodnotil svůj výkon v reálném letadle na škále od 1 (dobrý/bezpečný let) do 5 (velké chyby/nebezpečí)?***

*1*

*2*

*3*

*4*

*5*

***Jak byste ohodnotil chování simulátoru a reálného letadla?***

*Stejně*

*Spíše stejně*



*Spiše jiné*

*Jiné*

***Splnilo reálné letadlo Vaše očekávání?***

*Ano*

*Spiše ano*

*Spiše ne*

*Ne*

## 2.9 Metodika vyhodnocení

Data ze simulátoru lze jednoduše analyzovat z vygenerovaných textových souborů ze softwaru X-Plane 11 (vzorkovací frekvence bude nastavena na 5 Hz), zatímco data z reálného letu budou přepsána do souboru, který poté bude možné analyzovat (pro tento přepis byla zvolena vzorkovací frekvence 1 Hz). Poté bude následovat vyhodnocení za použití popisné statistiky. Dále bude použit Shapiro-Wilk test [27] pro určení, zda nálet, počet přistání a věk u úspěšných a neúspěšných účastníků odpovídají Gaussovu normálnímu rozdělení. Případně bude použit F-test [28] pro otestování variability skupin úspěšných a neúspěšných účastníků. Poté bude použit Mann-Whitney U-test (Wilcoxon Rank Sum test) [29] nebo dvouvýběrový (nepárový) Studentův T-test. [30]

Z těchto získaných souborů budou data analyzována pomocí grafů v prostředí Matlab a graficky znázorněna krabicovými grafy (funkce boxplot).

V experimentu jsou nastaveny limity (pro rychlost ve stoupání, pro výšku v horizontálním letu a pro rychlost v klesání), které budou též analyzovány, zdali se účastníkům podařilo je dodržovat. Tyto limity jsou 65 až 80 uzlů indikované vzdušné rychlosti pro rychlost ve stoupání, 1 400 až 1 600 stop nad střední hladinou moře a 60 až 75 uzlů indikované vzdušné rychlosti pro rychlost v klesání. Dále budou spočítány průměry, směrodatné odchylky a mediány pro každou fázi letu.

Součástí vyhodnocení bude i komentář a zhodnocení instruktora, který rozhodne, zda se účastníkovi podařilo okruh zaletět bezpečně.

Ve vyhodnocení bude brán zřetel i na subjektivní sebehodnocení, kdy se každý účastník bude moci zhodnotit v dotaznících, které dostane po absolvování výcviku na simulátoru

a po absolvování letu skutečným letounem. Tyto dvě sady dotazníků budou poté porovnány a bude zjišťováno případné subjektivní podcenění či přecenění vlastních schopností každého účastníka.

### 3. VÝSLEDKY

Tato kapitola je rozdělena na několik dílčích podkapitol. Jedna podkapitola je věnována demonstraci analýzy a vyhodnocení náhodného účastníka, druhá podkapitola je věnována srovnání dat naměřených na simulátoru a ve skutečném letounu a třetí podkapitola obsahuje vyhodnocení dotazníků. Autor nerozebírá každého jednotlivého účastníka zvlášť, protože by to bylo zbytečně podrobné. V práci je tedy uvedeno jedno vzorové vyhodnocení a shrnutí všech deseti účastníků najednou. Postup a výsledky účastníků jsou podrobně rozebrány za pomoci letového instruktora, jehož komentář je podpořen grafy a daty ze simulátoru a skutečného letounu. Vyhodnocení také obsahuje tabulku s hodnocením, jestli účastníci experiment bezpečně dokončili, nebo musel instruktor zasáhnout a odvrátit nebezpečí.

Jeden účastník experiment nedokončil z důvodu nepříjemných pocitů při používání virtuální reality, které mu (i po mnohých přestávkách) znemožňovaly další pokračování ve výcviku. Tento účastník nebyl zahrnut do analýzy, protože experiment byl přerušen ještě v 1. bloku osnovy, a nebyla tedy naměřena žádná data.

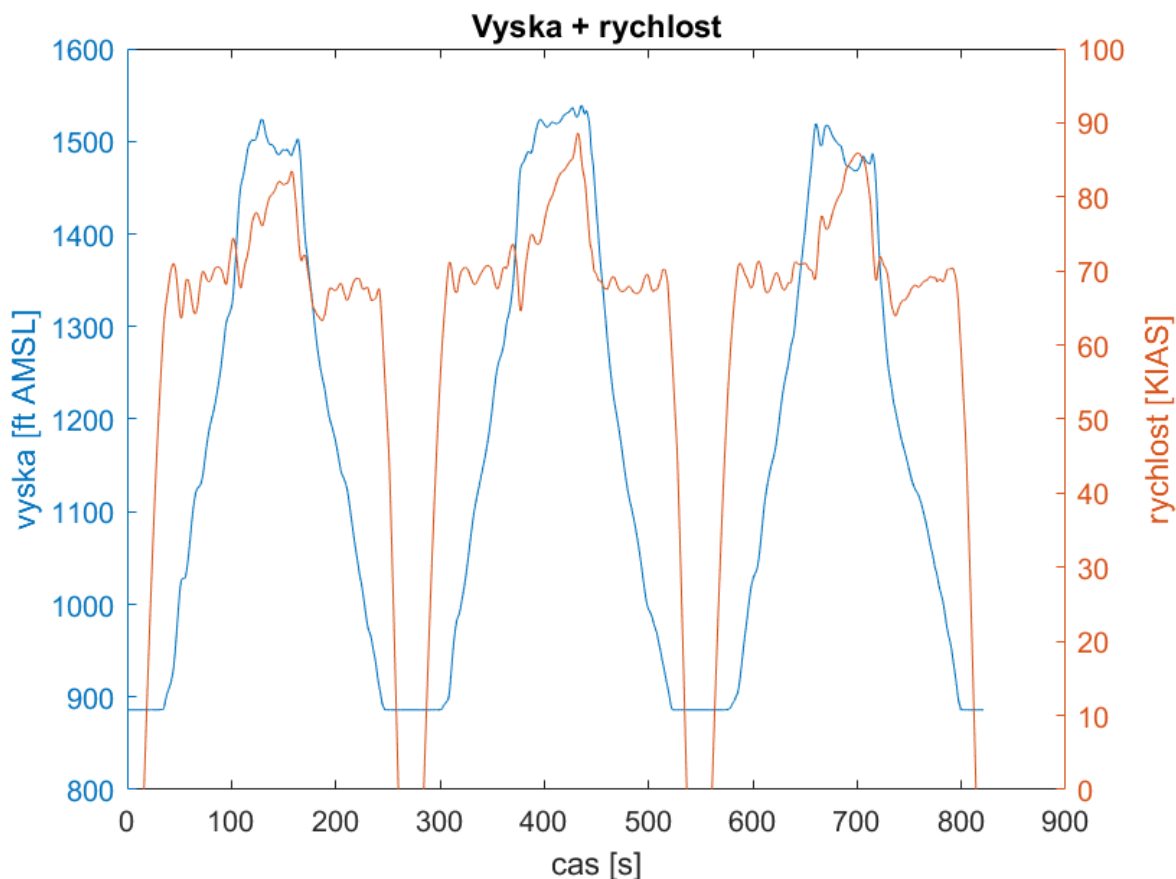
#### 3.1 Náhodný účastník

Náhodně zvolený účastník experimentu je muž ve věku 47 let s celkovým náletem na kluzácích ve výši 103 hodin a 239 starty.

Žák postupoval výcvikem relativně rychle. Celý výcvik na simulátoru si vyžádal 2 dny, z toho celkem 6 hodin čistého času. 2 hodiny byly věnovány 1. bloku, 1 hodina 2. bloku, 0,5 hodiny 3. bloku a 2,5 hodiny 4. bloku, který se v průběhu tréninku ukázal jako nejobtížnější.

Po absolvování tréninku žák zaletěl 3 „měřené“ okruhy na simulátoru. Tyto 3 okruhy byly analyzovány z pohledu výšky, rychlosti a trajektorie.

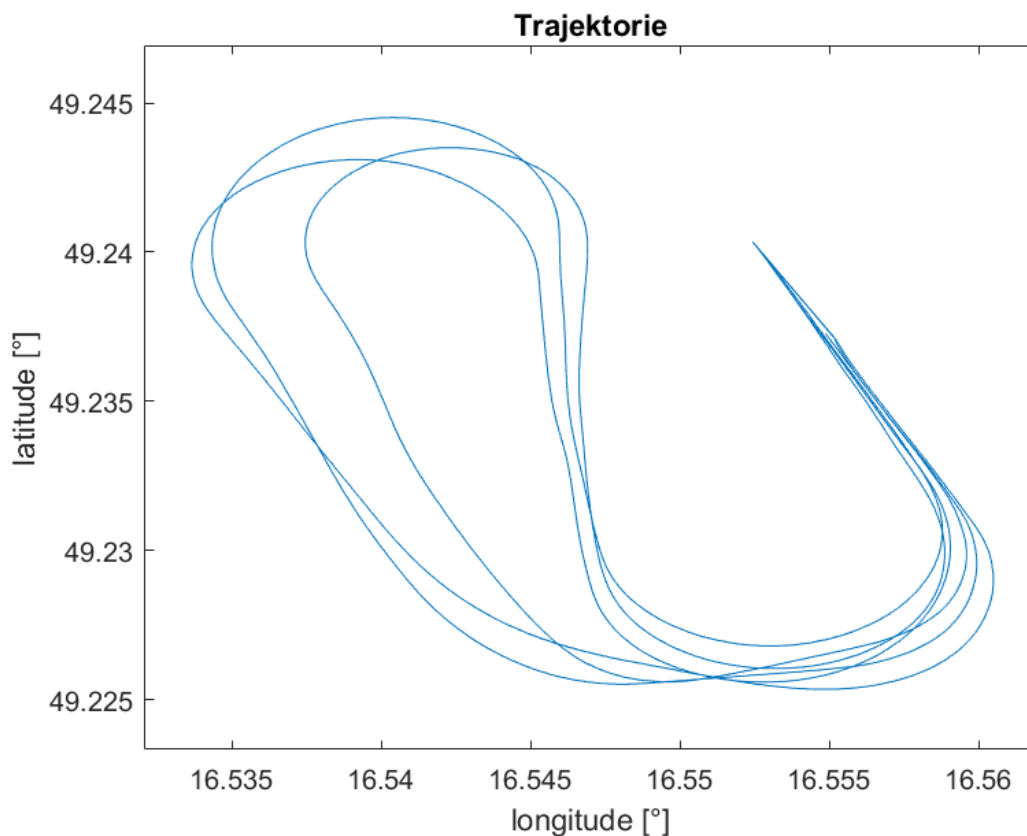
Na obrázku 26 lze vidět graf závislosti výšky a rychlosti na čase pro 3 měřené okruhy na simulátoru.



Obr. 26 Graf závislosti výšky a rychlosti na čase. Náhodně vybraný úspěšný účastník, 3 závěrečné okruhy na simulátoru.

Z grafu na obrázku 26 lze vyčíst, že první a druhý okruh žák zaletěl bez většího kolísání hodnot. Ve třetím okruhu žákovi po dostoupání okruhové výšky chvíli kolísala výška a malý propad výšky následoval nárůst rychlosti, ale žák dokázal letoun ustálit a pokračovat v letu, přičemž se stále nacházel v bezpečném intervalu hodnot.

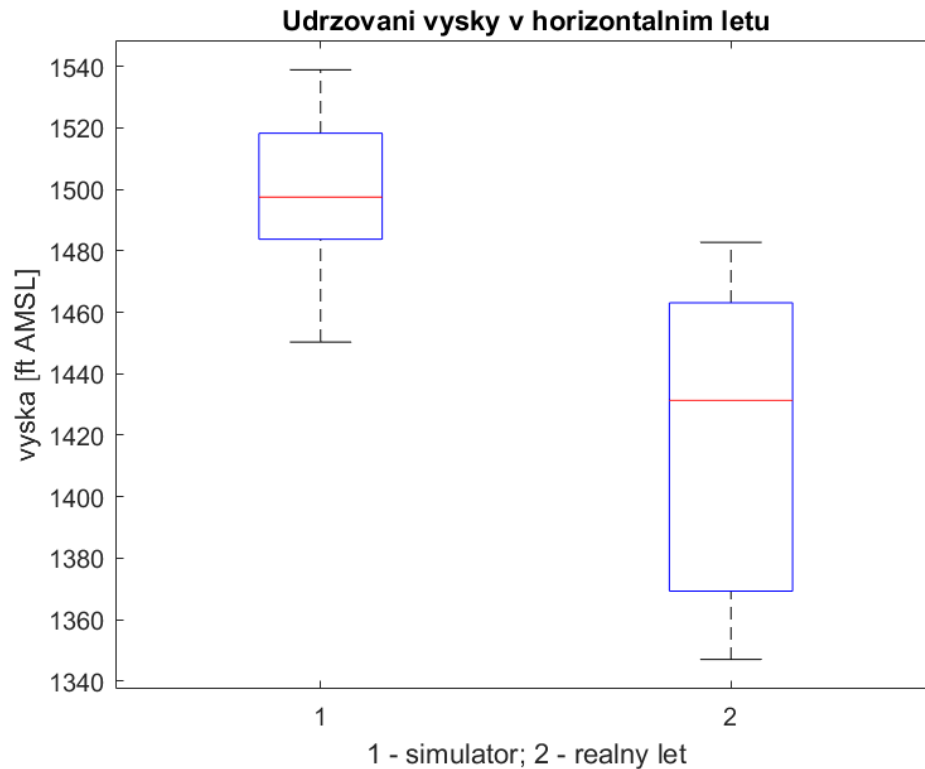
Na obrázku 27 pak můžeme vidět graf trajektorie letu pro všechny 3 měřené okruhy na simulátoru. Vzhledem k místním provozním omezením se na letišti Medlánky létá specifický tvar okruhů, a to jednak kvůli blízkosti CTR Tuřany v ose RWY a dále se z důvodu podélného sklonu RWY startuje, pokud možno, z RWY 16 a přistává se na RWY 34. Z RWY 34 se startuje pouze při silnějším severním větru a na RWY 16 se přistává pouze při silnějším jižním větru. Vane-li pouze slabý vítr, pak vzhledem k podélnému sklonu RWY často výhody startu, respektive přistání na klesavém, respektive stoupavém podélném sklonu RWY převáží nevýhody startu/přistání se zadním větrem. Na obrázku 27 tedy vidíme standardní okruh, který odpovídá běžně létanému okruhu.



Obr. 27 Graf trajektorie letu. Náhodně vybraný účastník, 3 závěrečné okruhy na simulátoru.

Komentář instruktora: „Ačkoliv má žák nalétáno pouze 103 hodin na kluzácích, prošel teoretickým výcvikem relativně hladce. Při tréninku na simulátoru zpočátku zažíval mírné motání hlavy v důsledku nového prostředí virtuální reality, ale po několika desítkách minut si zvykl a dále to nebyl problém. Při tréninku postupoval šikovně a učil se rychle. Úkony zvládal provádět přesně. Nejvíce času žák strávil na nácviku přiblížení a přistání, které ale ke konci tréninku zvládal provádět bezpečně.“

Graf na obrázku 28 představuje srovnání úspěšnosti udržování výšky v horizontálním letu na okruhu mezi měřeným letem na simulátoru a letem v reálném letounu. 1. sloupec znázorňuje data ze simulátoru, zatímco 2. sloupec znázorňuje data z reálného letu. Graf byl sestaven z dat, ze kterých byly vyloučeny hodnoty naměřené ve stoupání a v klesání.



*Obr. 28 Úspěšnost udržování výšky v horizontálním letu na okruhu.*

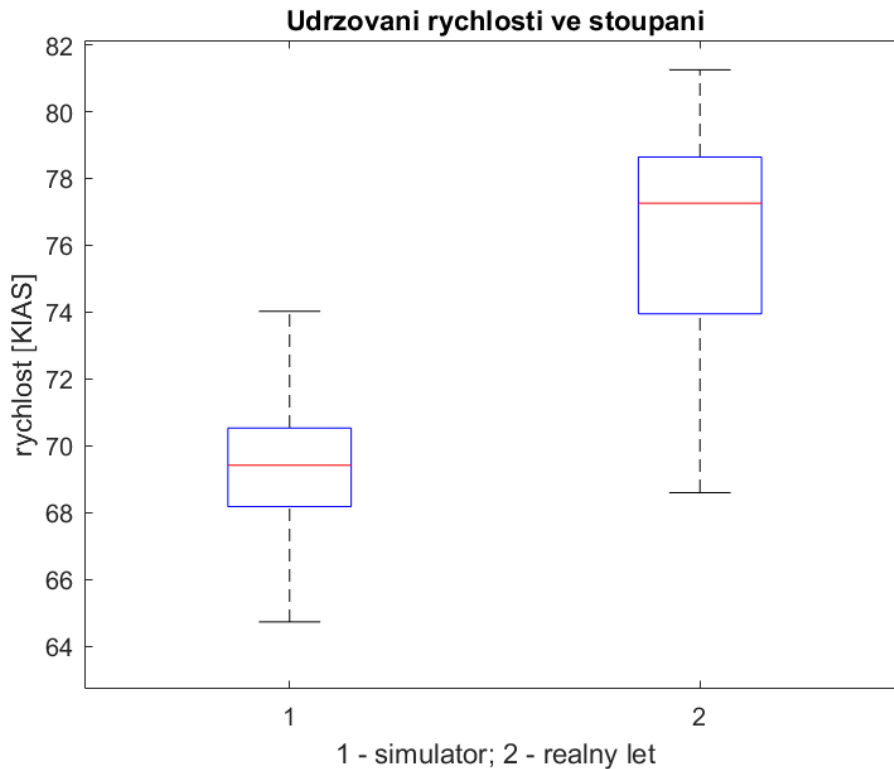
Na simulátoru byly naměřeny následující hodnoty:

- Průměrná výška: 1 499 stop nad střední hladinou moře
- Směrodatná odchylka: 21,1 stop
- Medián výšky: 1 497 stop nad střední hladinou moře

Při reálném letu byly naměřeny následující hodnoty:

- Průměrná výška: 1 418 stop nad střední hladinou moře
- Směrodatná odchylka: 46,4 stop
- Medián výšky: 1 431 stop nad střední hladinou moře

Graf na obrázku 29 představuje srovnání úspěšnosti udržování rychlosti ve stoupání na okruhu mezi měřeným letem na simulátoru a letem v reálném letounu. 1. sloupec znázorňuje data ze simulátoru a 2. sloupec znázorňuje data z reálného letu. Graf byl sestaven z dat, ze kterých byly vyloučeny hodnoty naměřené v horizontálním letu a v klesání.



*Obr. 29 Úspěšnost udržování rychlosti ve stoupaní na okruhu.*

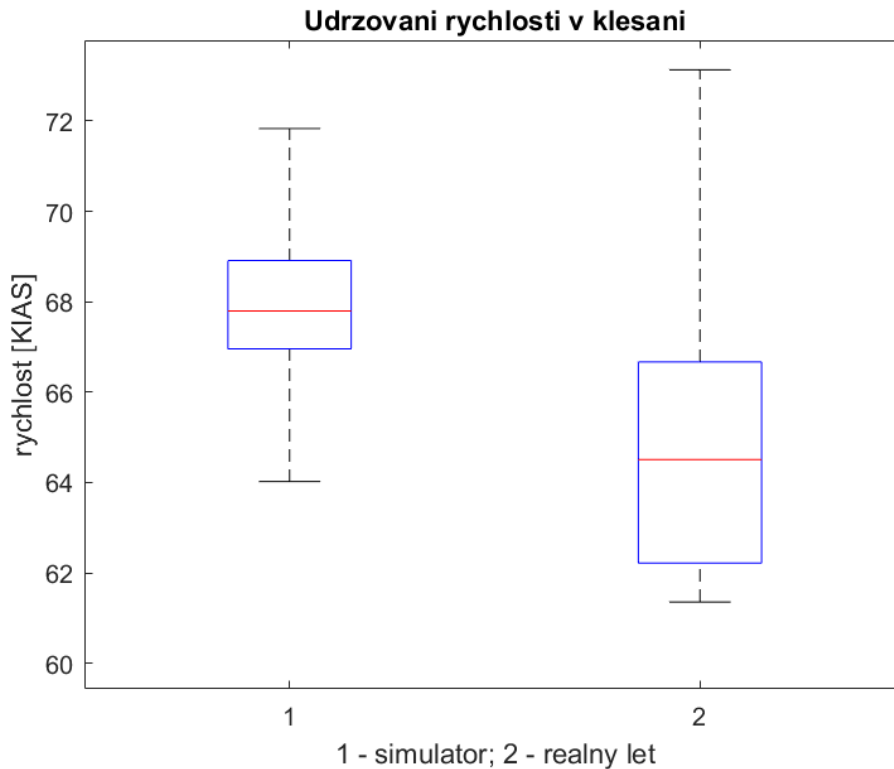
Na simulátoru byly naměřeny následující hodnoty:

- Průměrná rychlost: 69,3 uzlů indikované vzdušné rychlosti
- Směrodatná odchylka: 1,9 uzlů indikované vzdušné rychlosti
- Medián rychlosti: 69,4 uzlů indikované vzdušné rychlosti

Při reálném letu byly naměřeny následující hodnoty:

- Průměrná rychlost: 76,4 uzlů indikované vzdušné rychlosti
- Směrodatná odchylka: 3,4 uzlů indikované vzdušné rychlosti
- Medián rychlosti: 77,3 uzlů indikované vzdušné rychlosti

Graf na obrázku 30 představuje srovnání úspěšnosti udržování rychlosti v klesání na okruhu mezi měřeným letem na simulátoru a letem v reálném letounu. 1. sloupec znázorňuje data ze simulátoru a 2. sloupec znázorňuje data z reálného letu. Graf byl sestaven z dat, ze kterých byly vyloučeny hodnoty naměřené ve stoupaní a v horizontálním letu.



Obr. 30 Úspěšnost udržování rychlosti v klesání na okruhu.

Na simulátoru byly naměřeny následující hodnoty:

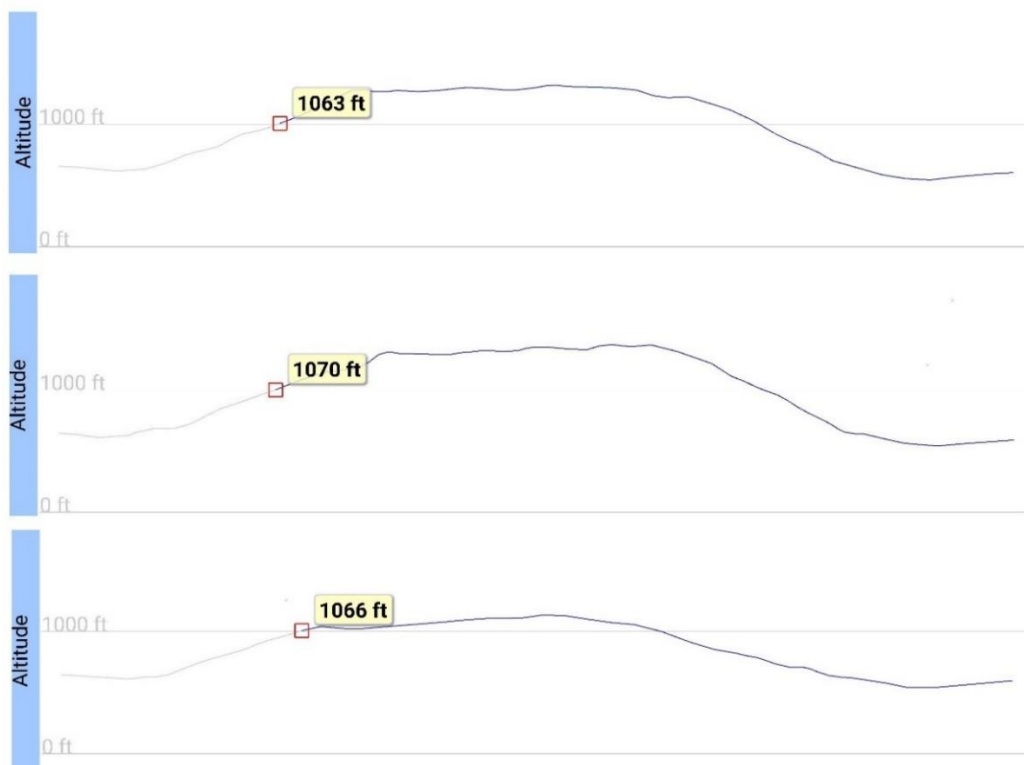
- Průměrná rychlost: 67,7 uzlů indikované vzdušné rychlosti
- Směrodatná odchylka: 2,0 uzlů indikované vzdušné rychlosti
- Medián rychlosti: 67,8 uzlů indikované vzdušné rychlosti

Při reálném letu byly naměřeny následující hodnoty:

- Průměrná rychlost: 65,0 uzlů indikované vzdušné rychlosti
- Směrodatná odchylka: 3,1 uzlů indikované vzdušné rychlosti
- Medián rychlosti: 64,5 uzlů indikované vzdušné rychlosti

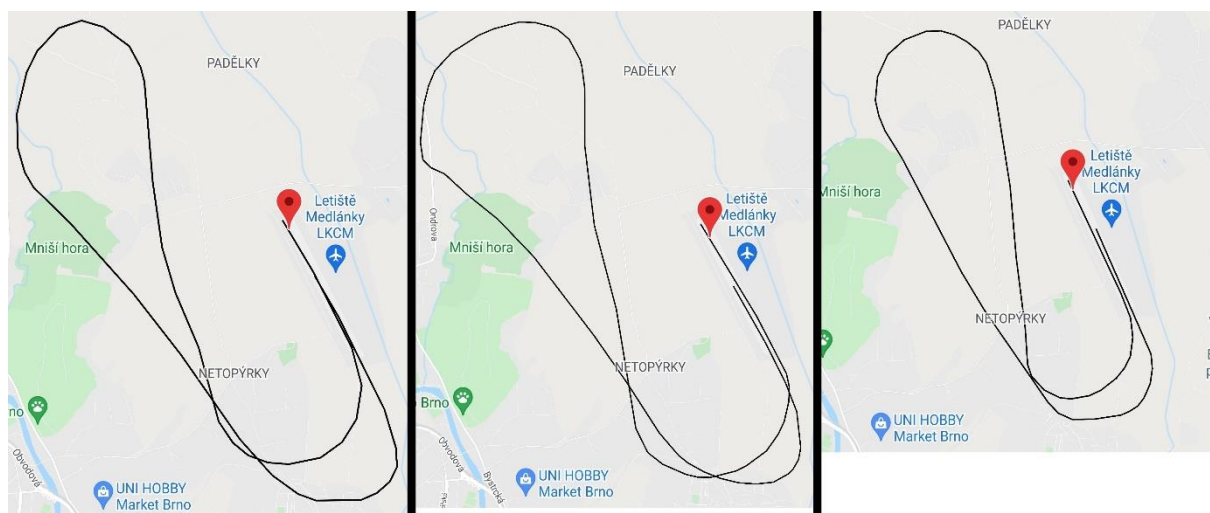
Počasí bylo v den letu klidné, boční vítr byl minimální, dohlednost více než 10 km a provoz na letišti nebyl žádný. Žák zaletěl 3 okruhy s instruktorem. Na obrázku 31 vidíme graf výšky pro 1., 2. a 3. okruh naměřený příručním zařízením na palubě letounu. Aplikace pro měření výšky má trvale zapnutý „plachtařský režim“, kde automaticky zaznamenává výšku vypnutí z aerovleku ve formě žlutého obdélníku, který bohužel není možné z grafu odstranit. Obdélník je ale částečně průhledný, takže graf výšky lze vcelku dobře vidět i skrz něj. Mírné klesání na začátku grafů a naopak mírné stoupání na konci grafů je způsobeno podélným sklonem RWY letiště Medláanky.





Obr. 31 Graf výšky pro 1., 2. a 3. okruh ve skutečném letounu.

Komentář instruktora: „Žák si při prvním okruhu viditelně zvykal na letoun. Měl však již zkušenosti ze simulátoru a věděl, co má ve které chvíli dělat. Řízení letounu bylo místy trhavé, ale stále bezpečné. Provedení úkonů bylo přesné a ve vhodný čas. Let po okruhu byl z hlediska trajektorie v pořádku (trajektorie je zaznamenána na obrázku 32 – pozn. autora). První přistání bylo tvrdšího rázu, ale bylo stále v bezpečných mezích. Druhé a třetí přistání bylo lepší, protože si žák začal pomalu zvykat na letoun a jeho chování.“



Obr. 32 Trajektorie letu pro 1., 2. a 3. okruh ve skutečném letounu.

Žák samostatně a úspěšně zaletěl všechny 3 okruhy.

### 3.2 Vyhodnocení všech 10 účastníků

Pro zachování přehlednosti bylo vyhodnocení všech letů popsáno v jedné kapitole a do grafů, které obsahují všechny účastníky vedle sebe, aby mohly být výkony jednotlivých účastníků snadněji porovnány a diskutovány.

V tabulce 3 je shrnuta úspěšnost jednotlivých účastníků ve formě ANO a NE, přičemž ANO znamená, že účastník úspěšně zaletěl všechny 3 okruhy a mohl by být puštěn na samostatný let po okruhu a NE znamená, že účastníkovi se nepovedlo zaletět alespoň 1 okruh. Dále je v tabulce 3 uveden nálet, počet přistání a věk každého účastníka.

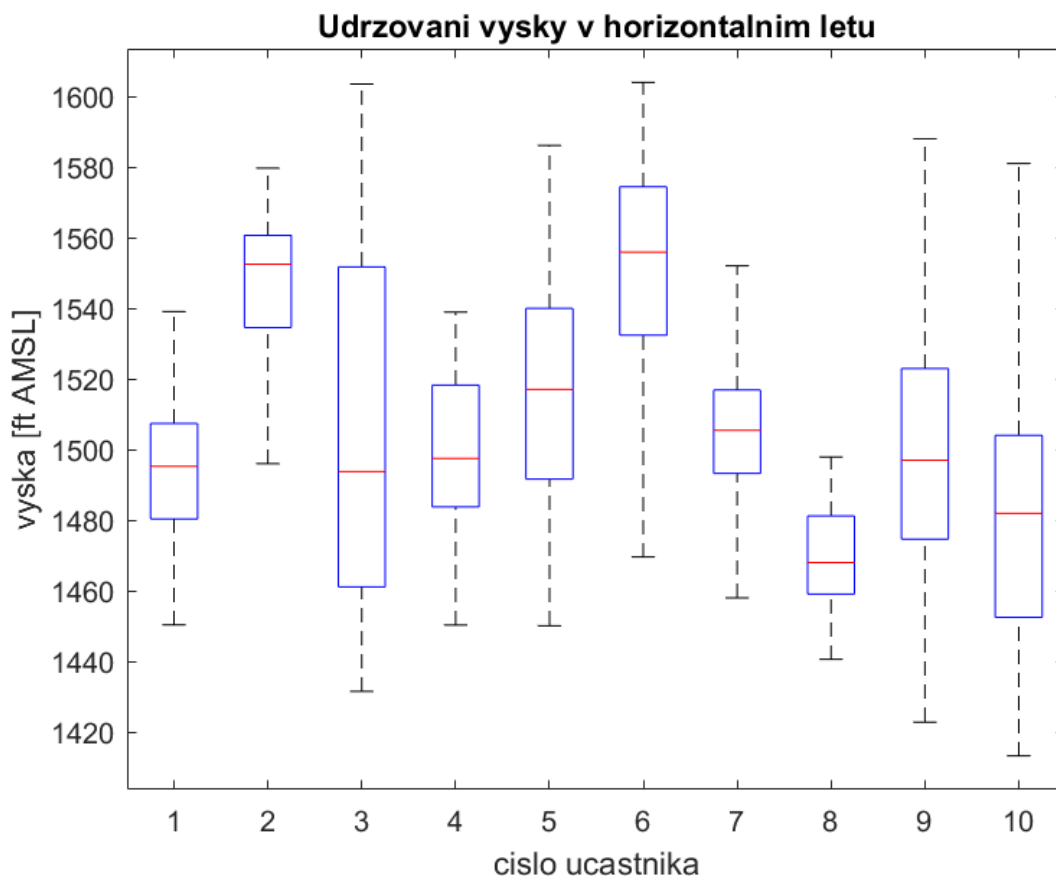
Tab. 3 Shrnutí jednotlivých účastníků.

<b>Číslo účastníka</b>	<b>Nálet [h]</b>	<b>Počet přistání</b>	<b>Věk</b>	<b>Uspěl?</b>
<b>1</b>	85	250	40	ANO
<b>2</b>	461	412	34	ANO
<b>3</b>	100	430	35	NE
<b>4</b>	103	239	47	ANO
<b>5</b>	40	194	22	NE
<b>6</b>	228	351	34	NE
<b>7</b>	117	295	38	NE
<b>8</b>	90	202	20	ANO
<b>9</b>	78	265	42	ANO
<b>10</b>	113	280	26	NE

Z experimentu vzešlo 5 úspěšných a 5 neúspěšných účastníků. Průměrná délka výcviku byla 8,2 hodiny, směrodatná odchylka byla 3,6 hodiny a medián délky výcviku byl 7 hodin.

Byl proveden Shapiro-Wilk test na nálet s výsledky  $p = 0,0063$  pro skupinu úspěšných účastníků a  $p = 0,5051$  pro skupinu neúspěšných účastníků. Shapiro-Wilk test na počet přistání přinesl výsledky  $p = 0,1352$  pro skupinu úspěšných účastníků a  $p = 0,9999$  pro skupinu neúspěšných účastníků. Shapiro-Wilk test na věk přinesl výsledky  $p = 0,6364$  pro skupinu úspěšných účastníků a  $p = 0,5954$  pro skupinu neúspěšných účastníků. Dále byl proveden Mann-Whitney U-test (Wilcoxon Rank Sum test) pro ověření, zda na úspěšnost neměl vliv nálet, počet přistání nebo věk. Tento test byl zvolen z důvodu, že bylo k dispozici pouze málo dat. V testu provedeném na náletu byla zjištěna hodnota  $p = 0,6905$ , v testu provedeném na počtu přistání byla zjištěna hodnota  $p = 0,4206$  a v testu provedeném na věku byla zjištěna hodnota  $p = 0,3413$ . Před použitím Studentova T-testu byl použit F-test s výsledky  $p = 0,88$  pro počet přistání a  $p = 0,4182$  pro věk. Dále byl pro počet přistání a věk použit nepárový Studentův T-test, protože tyto hodnoty pravděpodobně odpovídají Gaussovu normálnímu rozdělení a pravděpodobně mezi sebou nemají statisticky signifikantní variabilitu. V testu provedeném na počtu přistání byla zjištěna hodnota  $p = 0,5138$ . V testu provedeném na věku byla zjištěna hodnota  $p = 0,3407$ . Hladina významnosti byla pro všechny testy zvolena na hodnotu  $\alpha = 0,05$ .

Graf na obrázku 33 představuje srovnání úspěšnosti jednotlivých účastníků při udržování výšky v horizontálním letu na okruhu při měřeném letu na simulátoru. Každý sloupec koresponduje s daty naměřenými od jednoho účastníka. Graf byl sestaven z dat, ze kterých byly vyloučeny hodnoty naměřené ve stoupání a v klesání.

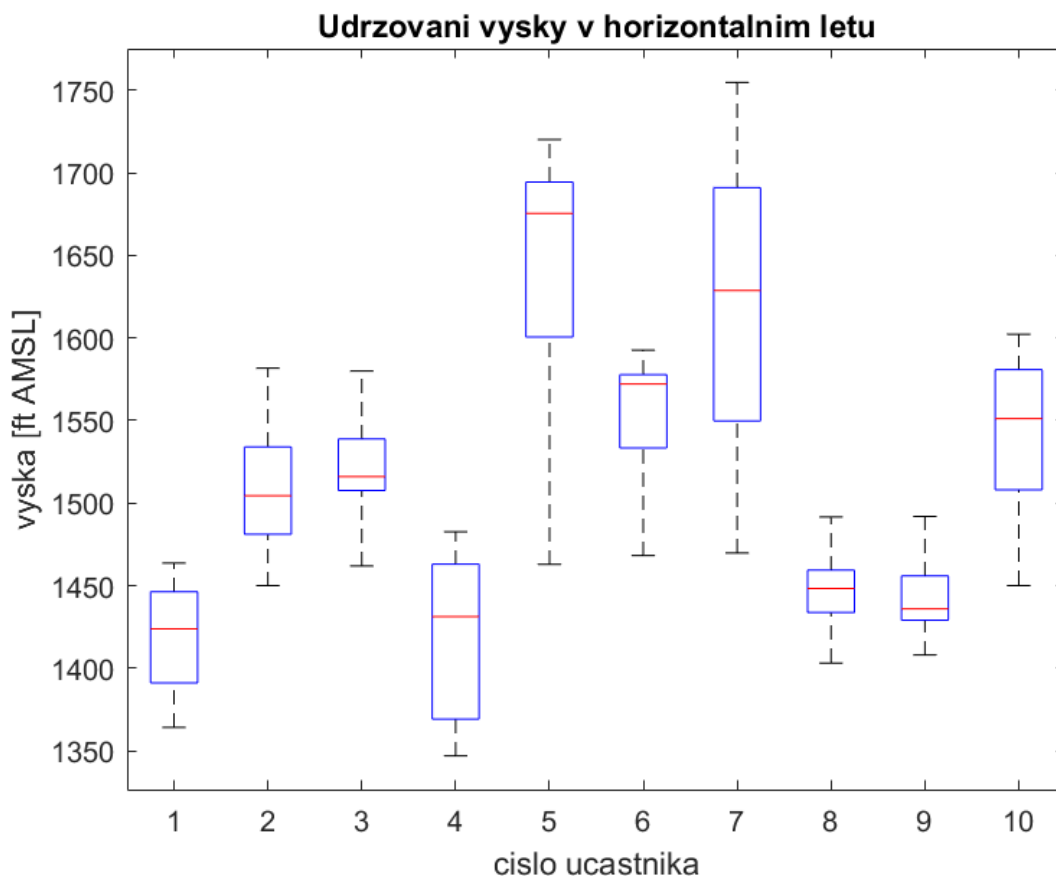


Obr. 33 Úspěšnost udržování výšky v horizontálním letu na okruhu. Simulátor.

Na simulátoru byly naměřeny následující hodnoty (hodnoty byly spočítány spojením hodnot od všech 10 účastníků z grafu na obrázku 33 do jednoho souboru dat):

- Průměrná výška: 1 509 stop nad střední hladinou moře
- Směrodatná odchylka: 39,2 stop
- Medián výšky: 1 505 stop nad střední hladinou moře

Graf na obrázku 34 představuje srovnání úspěšnosti jednotlivých účastníků při udržování výšky v horizontálním letu na okruhu při letu v reálném letounu. Každý sloupec koresponduje s daty naměřenými od jednoho účastníka. Graf byl sestaven z dat, ze kterých byly vyloučeny hodnoty naměřené ve stoupání a v klesání.

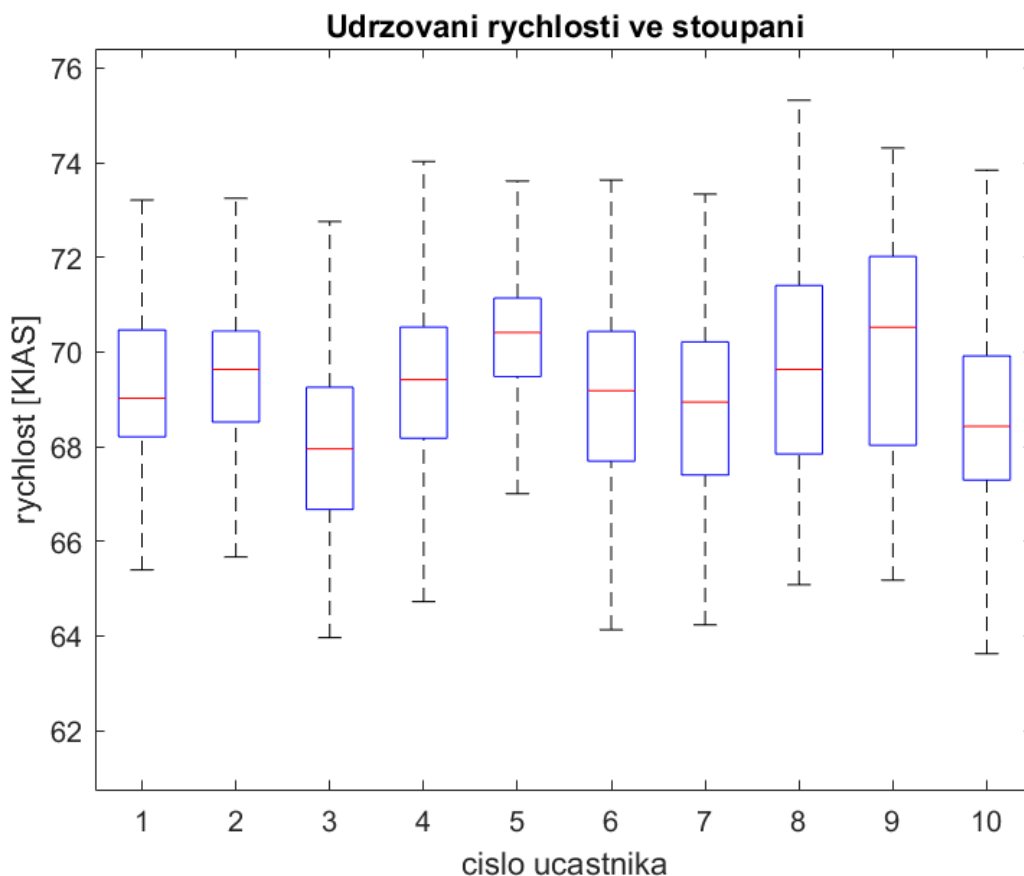


Obr. 34 Úspěšnost udržování výšky v horizontálním letu na okruhu. Reálný let.

Při reálném letu byly naměřeny následující hodnoty (hodnoty byly spočítány spojením hodnot od všech 10 účastníků z grafu na obrázku 34 do jednoho souboru dat):

- Průměrná výška: 1 507 stop nad střední hladinou moře
- Směrodatná odchylka: 83,6 stop
- Medián výšky: 1 497 stop nad střední hladinou moře

Graf na obrázku 35 představuje srovnání úspěšnosti jednotlivých účastníků při udržování rychlosti ve stoupání na okruhu při měřeném letu na simulátoru. Každý sloupec koresponduje s daty naměřenými od jednoho účastníka. Graf byl sestaven z dat, ze kterých byly vyloučeny hodnoty naměřené v horizontálním letu a v klesání.

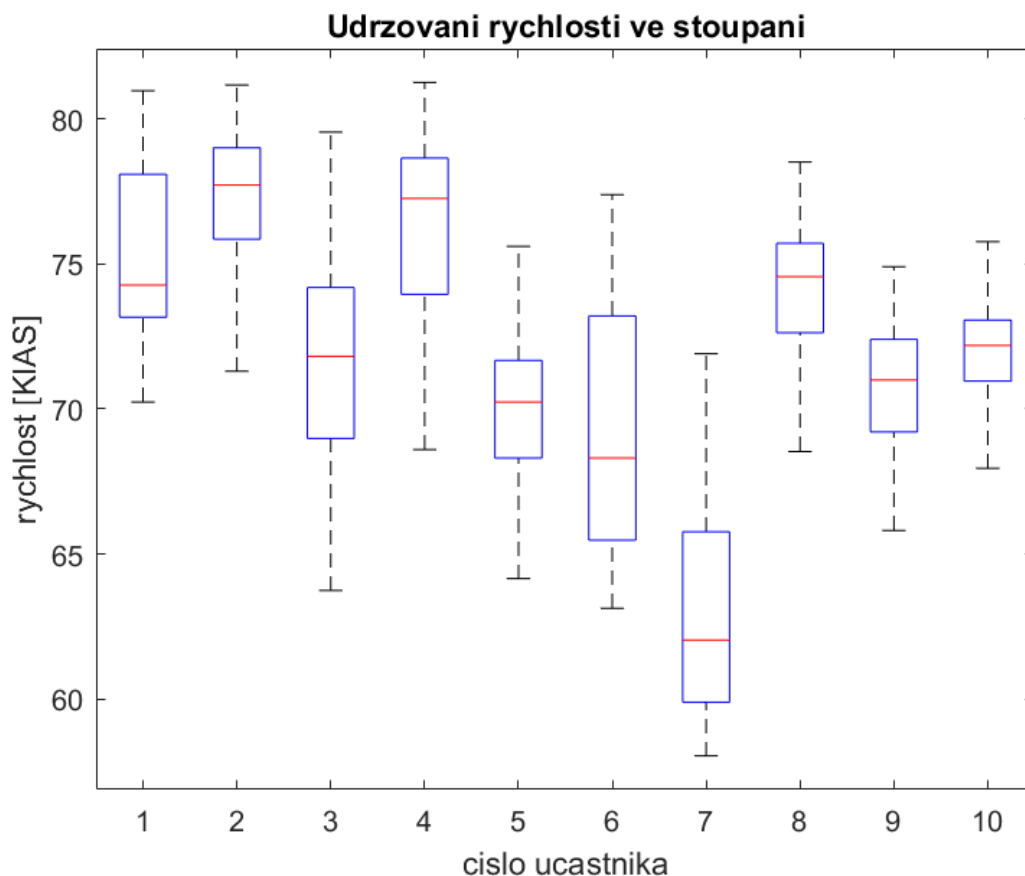


Obr. 35 Úspěšnost udržování rychlosti ve stoupaní na okruhu. Simulátor.

Na simulátoru byly naměřeny následující hodnoty (hodnoty byly spočítány spojením hodnot od všech 10 účastníků z grafu na obrázku 35 do jednoho souboru dat):

- Průměrná rychlost: 69,3 uzlů indikované vzdušné rychlosti
- Směrodatná odchylka: 2,1 uzlů indikované vzdušné rychlosti
- Medián rychlosti: 69,3 uzlů indikované vzdušné rychlosti

Graf na obrázku 36 představuje srovnání úspěšnosti jednotlivých účastníků při udržování rychlosti ve stoupaní na okruhu při letu v reálném letounu. Každý sloupec koresponduje s daty naměřenými od jednoho účastníka. Graf byl sestaven z dat, ze kterých byly vyloučeny hodnoty naměřené v horizontálním letu a v klesání.

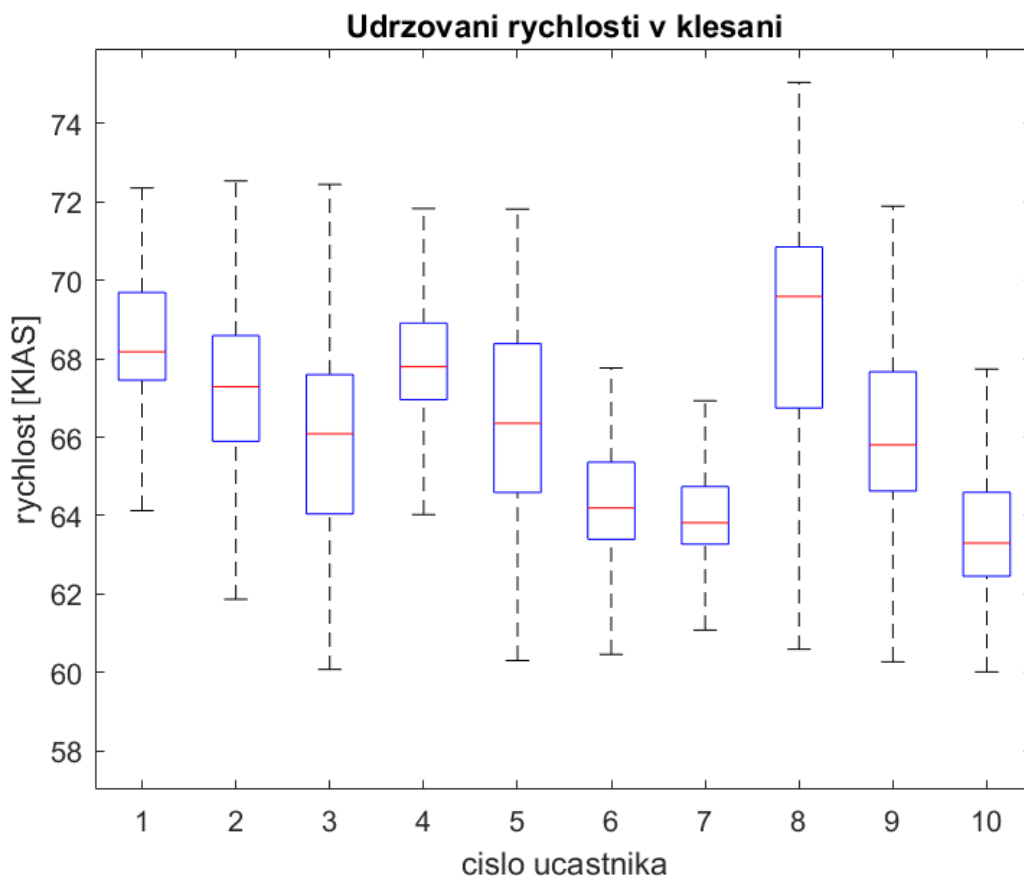


Obr. 36 Úspěšnost udržování rychlosti ve stoupání na okruhu. Reálný let.

Při reálném letu byly naměřeny následující hodnoty (hodnoty byly spočítány spojením hodnot od všech 10 účastníků z grafu na obrázku 36 do jednoho souboru dat):

- Průměrná rychlost: 71,7 uzlů indikované vzdušné rychlosti
- Směrodatná odchylka: 4,9 uzlů indikované vzdušné rychlosti
- Medián rychlosti: 72,0 uzlů indikované vzdušné rychlosti

Graf na obrázku 37 představuje srovnání úspěšnosti jednotlivých účastníků při udržování rychlosti v klesání na okruhu při měřeném letu na simulátoru. Každý sloupec koresponduje s daty naměřenými od jednoho účastníka. Graf byl sestaven z dat, ze kterých byly vyloučeny hodnoty naměřené ve stoupání a v horizontálním letu.



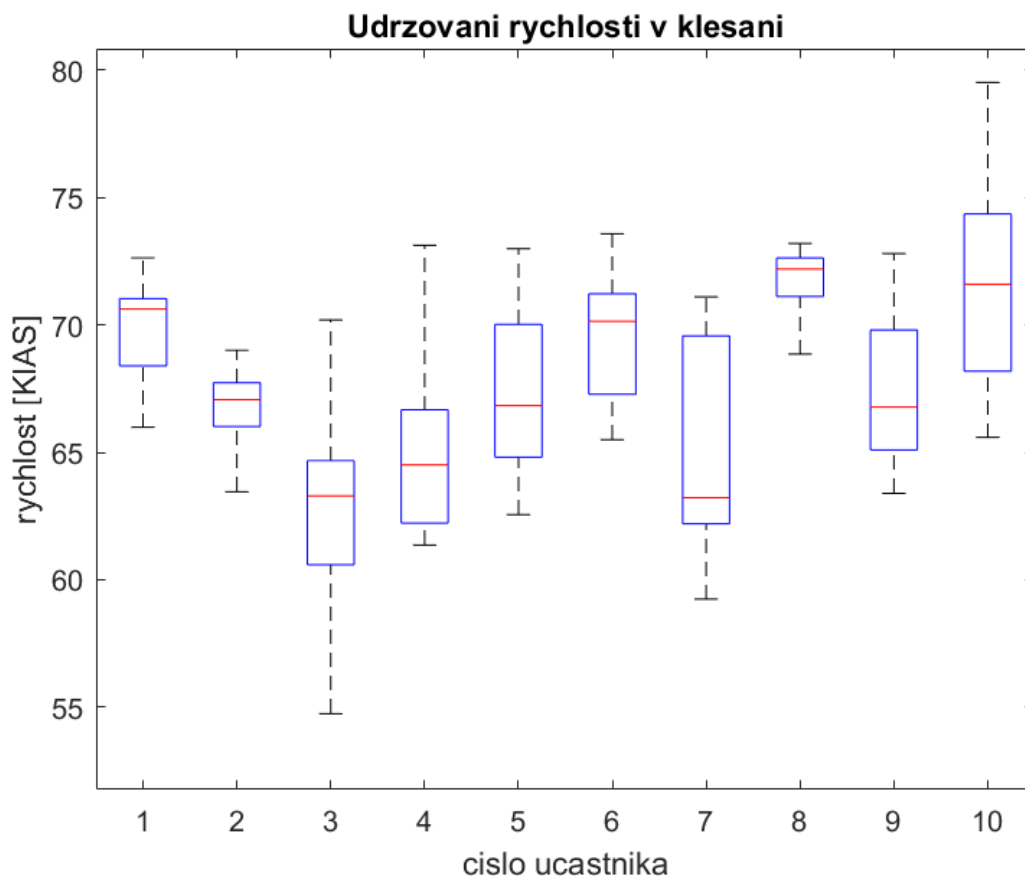
Obr. 37 Úspěšnost udržování rychlosti v klesání na okruhu. Simulátor.

Na simulátoru byly naměřeny následující hodnoty (hodnoty byly spočítány spojením hodnot od všech 10 účastníků z grafu na obrázku 37 do jednoho souboru dat):

- Průměrná rychlost: 66,4 uzlů indikované vzdušné rychlosti
- Směrodatná odchylka: 2,7 uzlů indikované vzdušné rychlosti
- Medián rychlosti: 66,4 uzlů indikované vzdušné rychlosti

Graf na obrázku 38 představuje srovnání úspěšnosti jednotlivých účastníků při udržování rychlosti v klesání na okruhu při letu v reálném letounu. Každý sloupec koresponduje s daty naměřenými od jednoho účastníka. Graf byl sestaven z dat, ze kterých byly vyloučeny hodnoty naměřené ve stoupání a v horizontálním letu.



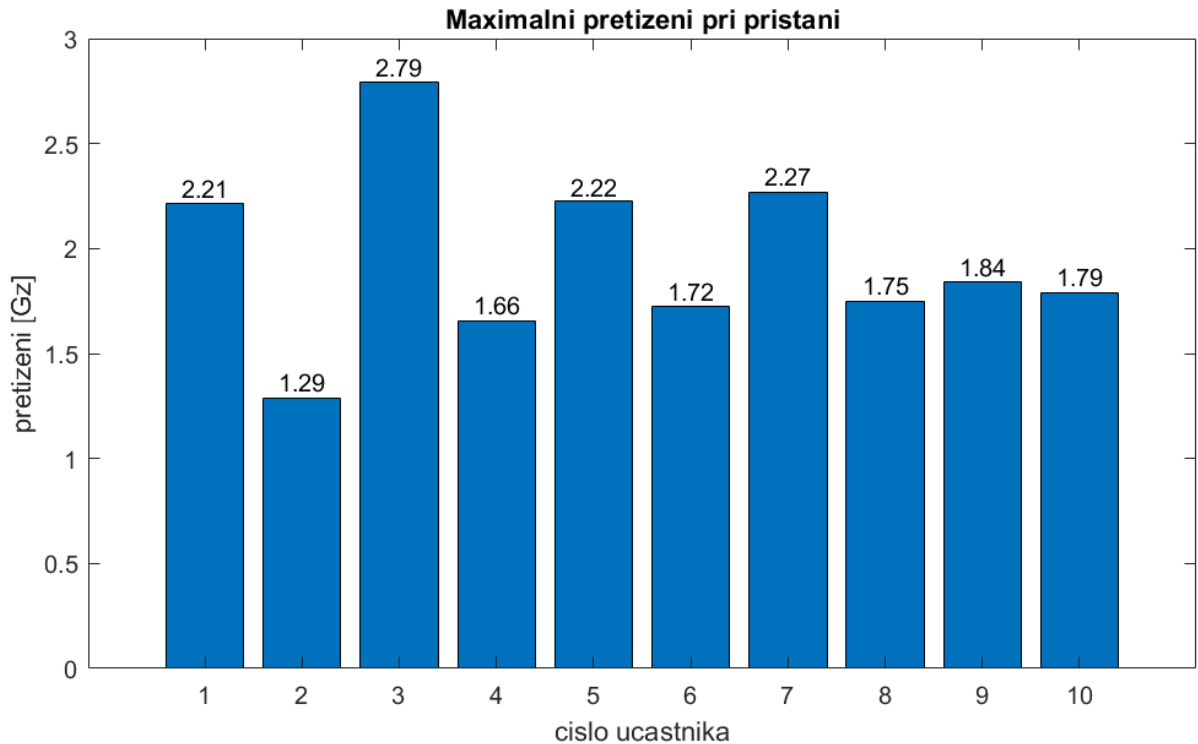


Obr. 38 Úspěšnost udržování rychlosti v klesání na okruhu. Reálný let.

Při reálném letu byly naměřeny následující hodnoty (hodnoty byly spočítány spojením hodnot od všech 10 účastníků z grafu na obrázku 38 do jednoho souboru dat):

- Průměrná rychlost: 67,2 uzlů indikované vzdušné rychlosti
- Směrodatná odchylka: 4,2 uzlů indikované vzdušné rychlosti
- Medián rychlosti: 67,2 uzlů indikované vzdušné rychlosti

Graf na obrázku 39 představuje srovnání vzniklých přetížení ve směru  $G_z$  při přistání při měřeném letu na simulátoru. Každý sloupec koresponduje s daty naměřenými od jednoho účastníka a ukazuje největší naměřené přetížení ve směru  $G_z$  při závěrečných třech měřených okruzích na simulátoru.

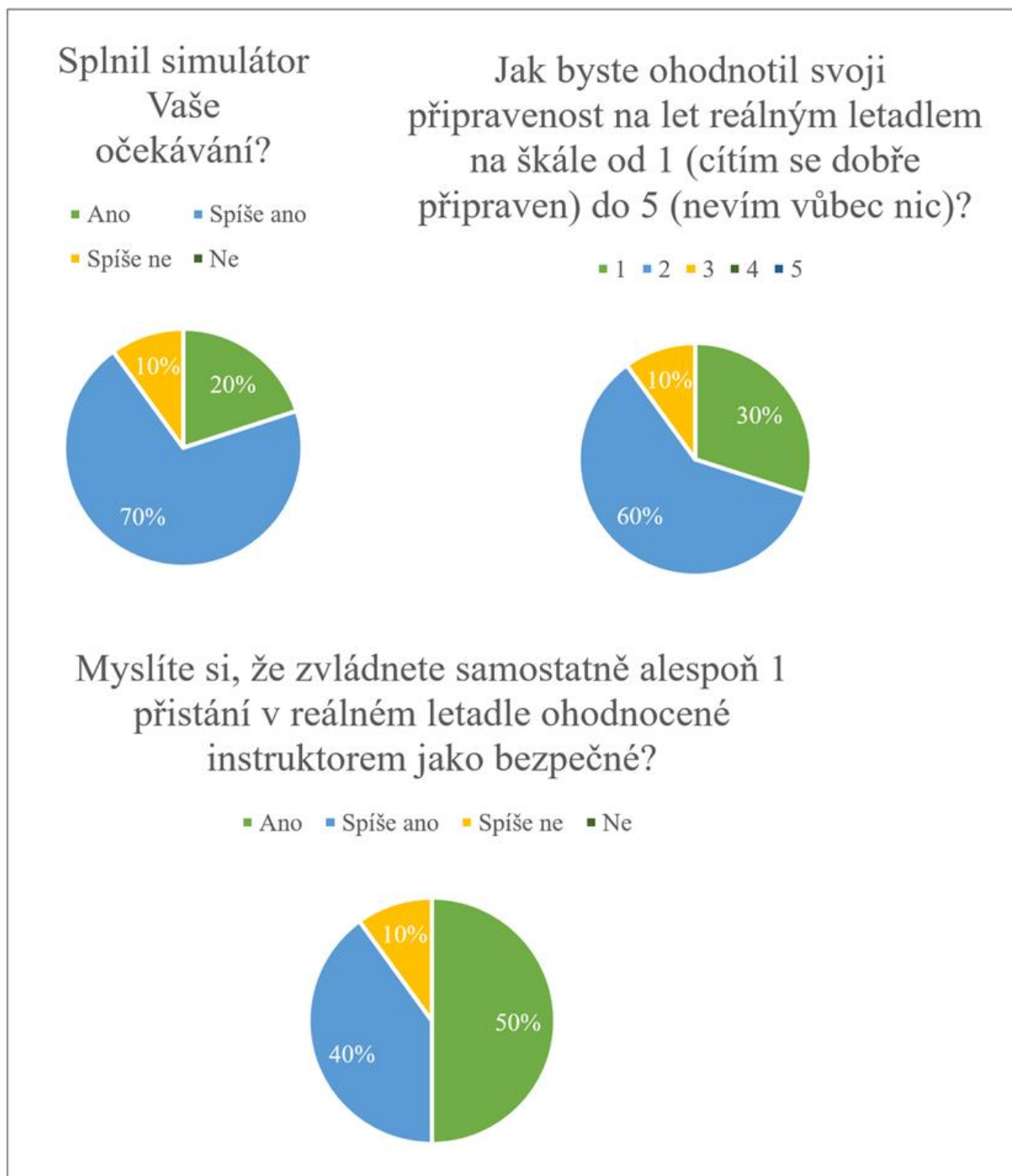


*Obr. 39 Hodnota nejvyššího zaznamenaného přetížení při přistání. Simulátor.*

### 3.3 Vyhodnocení dotazníků

V této kapitole jsou prezentovány výsledky z dotazníkového šetření. Tyto dotazníky měly za cíl přiblížit subjektivní pocity jednotlivých účastníků.

Účastníci postupně dostávali v různých fázích experimentu několik dotazníků. První dva dotazníky účastníci dostali po ukončení výcviku na simulátoru. Četnosti odpovědí z těchto prvních dvou dotazníků jsou uvedeny na obrázku 40 (autorem vytvořený dotazník) a kombinovaně na obrázcích 43-48 (dotazník NASA Task Load Index, část „Simulátor“).



Obr. 40 Výsledky autorem vytvořeného dotazníku, který účastníci vyplňovali po výcviku na simulátoru.

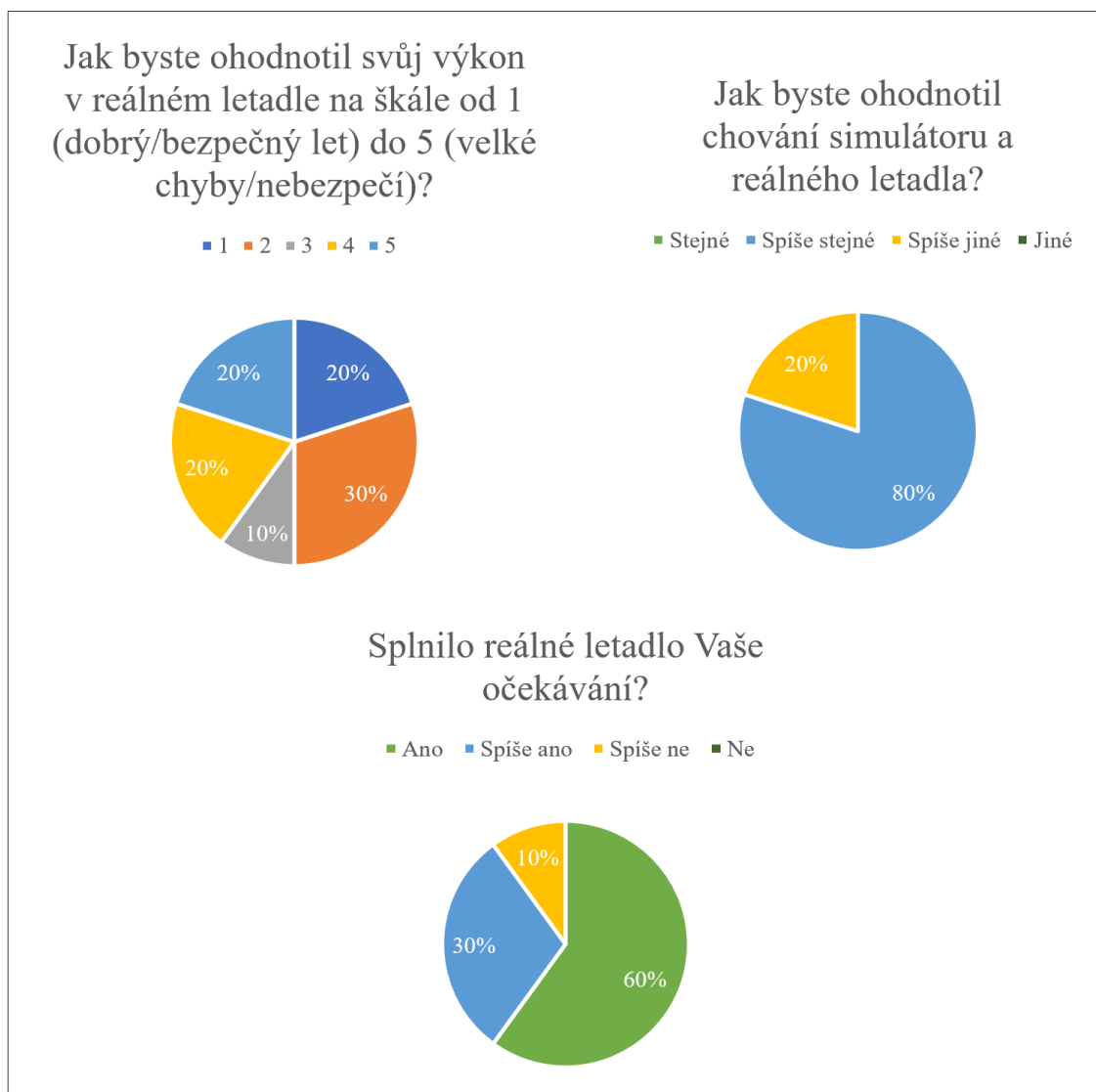
Simulátor splnil očekávání 2 účastníků z 10, spíše splnil očekávání 7 účastníků z 10 a spíše nesplnil očekávání 1 účastníka z 10. Nesplnění všech očekávání bylo způsobeno zejména faktem, že někteří účastníci neměli vůbec žádné dřívější zkušenosti s virtuální realitou a jejich očekávání byla různá.

Sebehodnocení vlastních schopností po ukončení výcviku na simulátoru bylo z velké části pozitivní. Všichni účastníci po potřebném výcviku úspěšně zaletěli 3 měřené okruhy

na simulátoru, což je pravděpodobně motivovalo uvést do dotazníku dobrou připravenost. 3 z 10 účastníků se ohodnotili stupněm 1, 6 z 10 účastníků se ohodnotilo stupněm 2 a 1 z 10 účastníků se ohodnotil stupněm 3.

S výše uvedenou otázkou sebehodnocení úzce souvisí i otázka, zdali si účastníci myslí, že zvládnou zaletět alespoň jeden okruh zhodnocený instruktorem jako bezpečný. Zde i někteří účastníci, kteří se v předchozí otázce ohodnotili stupněm 2, věřili, že alespoň jeden okruh (pravděpodobně ten třetí) zvládnou bezpečně zaletět. 5 z 10 účastníků věřilo, že alespoň jeden okruh zvládnou bezpečně zaletět, 4 z 10 účastníků měli naději, že to spíše zvládnou a 1 z 10 účastníků měl pochybnosti, zda zvládne zaletět bezpečný okruh i v reálném letounu.

Druhé dva dotazníky účastníci dostali po reálném letu. Četnosti odpovědí z těchto druhých dvou dotazníků jsou uvedeny na obrázku 41 (autorem vytvořený dotazník) a kombinovaně na obrázcích 43-48 (dotazník NASA Task Load Index, část „Reálný let“).



Obr. 41 Výsledky autorem vytvořeného dotazníku, který účastníci vyplňovali po reálném letu.

Účastníci byli po zaletění třech okruhů v reálném letounu požádáni o vyplnění dotazníku, kde měli ohodnotit sami sebe na škále od 1 (bezpečný let) do 5 (neúspěšný let / zásah instruktora). 2 z 10 účastníků se ohodnotili stupněm 1, 3 z 10 účastníků se ohodnotili stupněm 2, 1 z 10 účastníků se ohodnotil stupněm 3, 2 z 10 účastníků se ohodnotili stupněm 4 a 2 z 10 účastníků se ohodnotili stupněm 5.

Na otázku ohledně srovnání chování simulátoru a reálného letounu odpovědělo 8 z 10 účastníků tak, že měli pocit, že chování simulátoru a reálného letounu je velmi podobné, ale nebylo úplně stejné. 2 z 10 účastníků odpověděli, že mezi chováním simulátoru a reálného letounu pozorovali větší odlišnosti, a proto zvolili odpověď „Spíše jiné“. Odlišnosti byly způsobeny zejména nemožností simulovat přetížení (zejména při změnách podélného sklonu a dosednutí) a hardwarem, který je koncipován pro univerzální simulátor letounů.

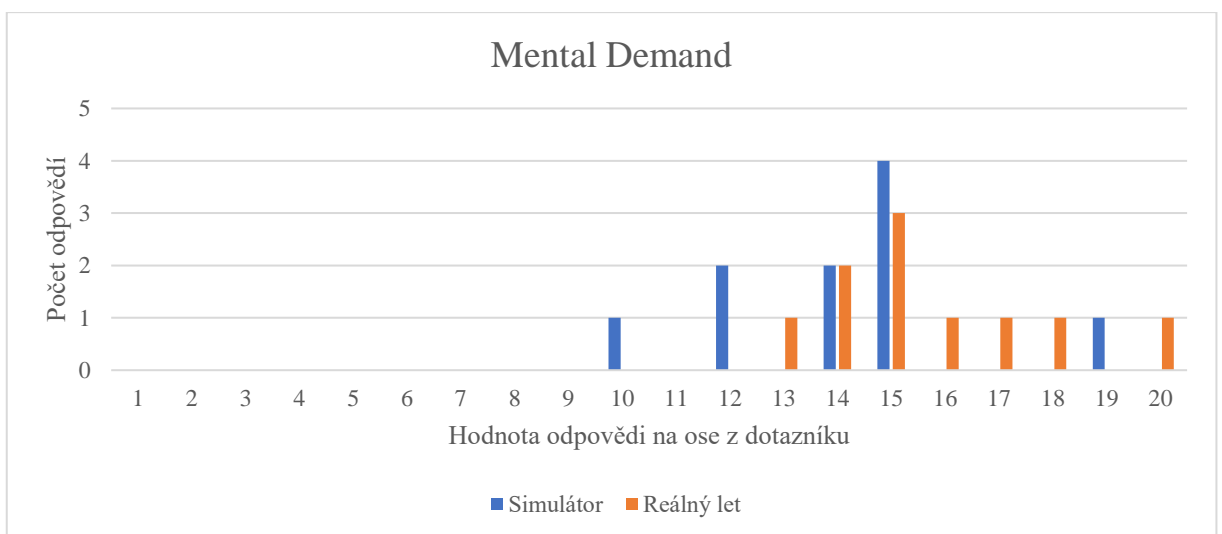
Reálný letoun splnil očekávání 6 účastníků z 10, spíše splnil očekávání 3 účastníků z 10 a spíše nesplnil očekávání 1 účastníka z 10. Nesplnění všech očekávání bylo způsobeno zejména faktem, že účastníci neměli dřívější zkušenosti s řízením motorového letounu (a naopak byli zvyklí na řízení kluzáků a síly v řízení a citlivosti řízení s tím spojené) a jejich očekávání byla různá. Účastníci zejména zmiňovali nečekaně velké síly v řízení (ty byly částečně způsobeny zapomínáním na podélné vyvažování nebo jeho nedostatečným používáním) nebo vyšší citlivost řízení podélného sklonu či nižší citlivost řízení příčného sklonu oproti simulátoru.

Na obrázku 43 jsou znázorněny odpovědi účastníků v dotazníku NASA Task Load Index. Tento dotazník účastníci dostali dvakrát: jednou po výcviku na simulátoru a jednou po reálném letu. Tyto sady odpovědí jsou srovnány v jednom grafu pro každou otázku, aby bylo možné je jednodušeji porovnat.

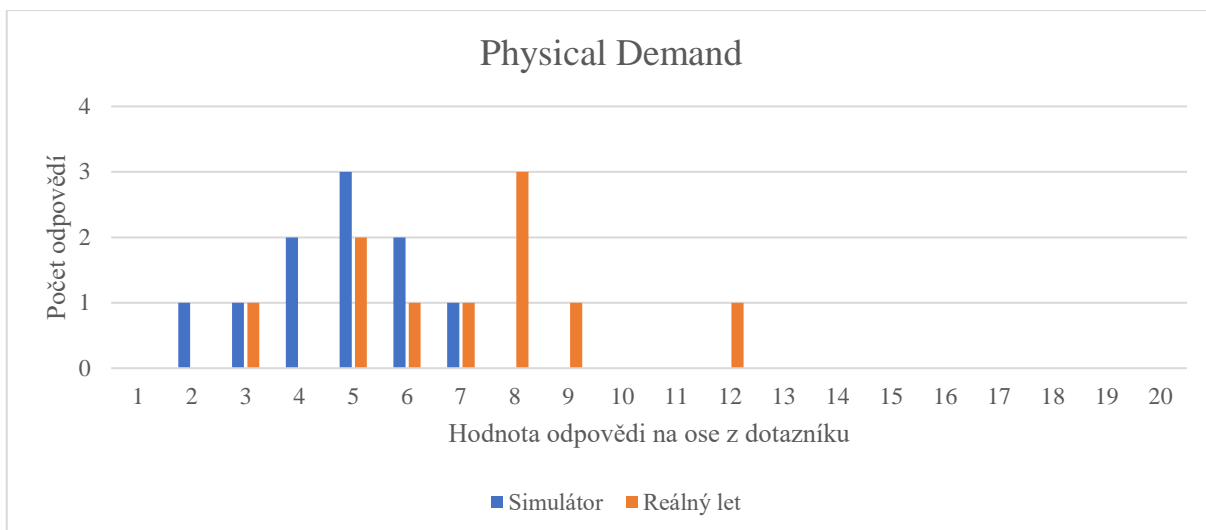
Tento dotazník byl vyhodnocen podle čísla, které koresponduje s daným polem, které bylo zaškrtnuto; příklad klíče je obrázku 42.



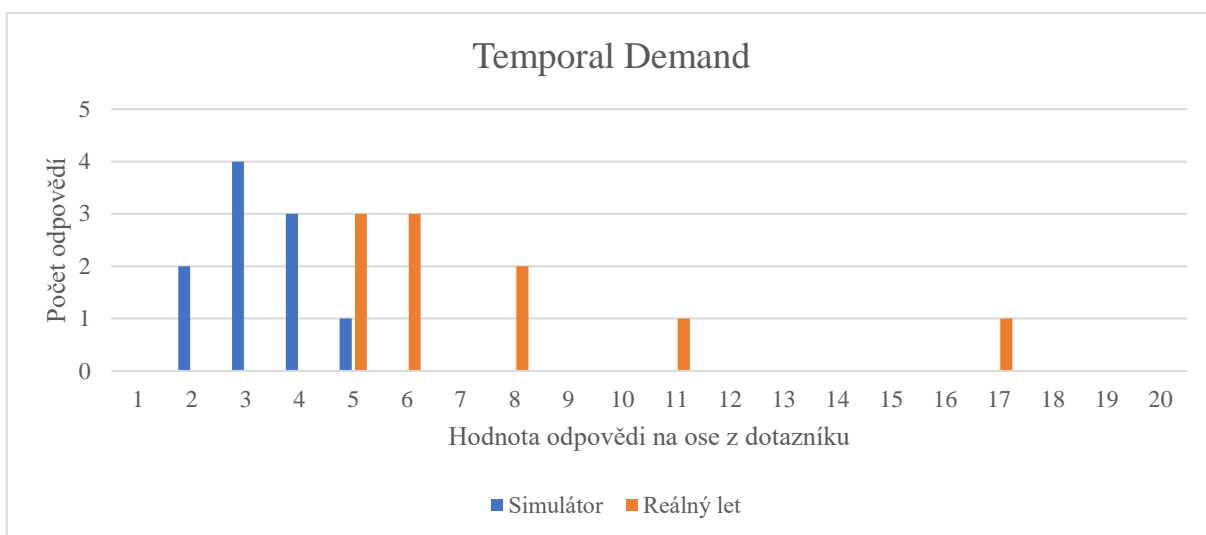
Obr. 42 Příklad klíče pro vyhodnocení dotazníku NASA Task Load Index s označeným polem číslo 7.



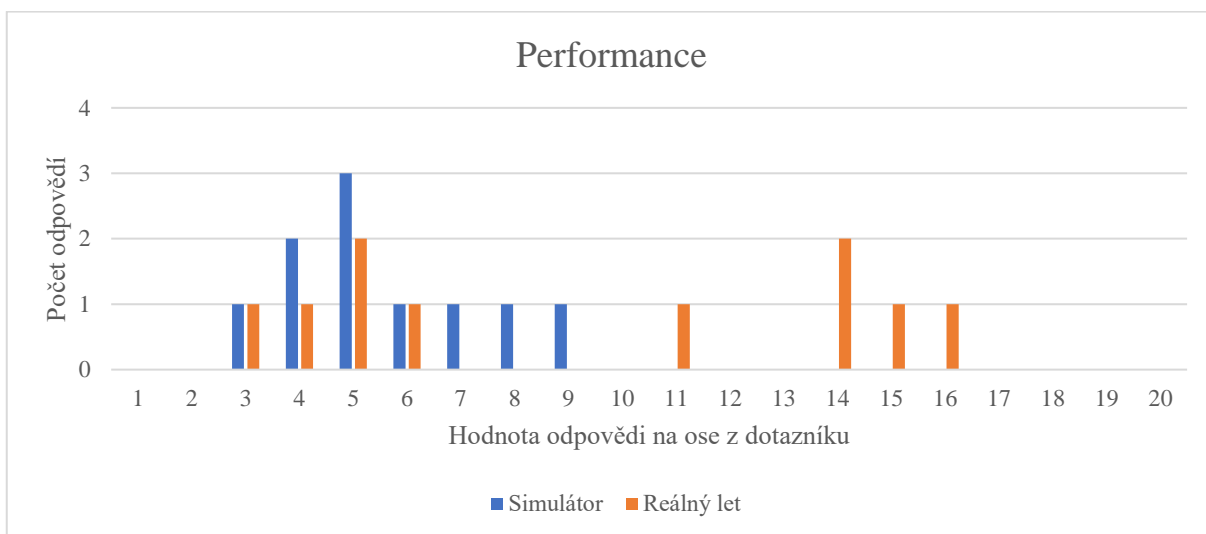
Obr. 43 Výsledky z dotazníku NASA Task Load Index. Subjektivně pocíťovaná psychická náročnost.



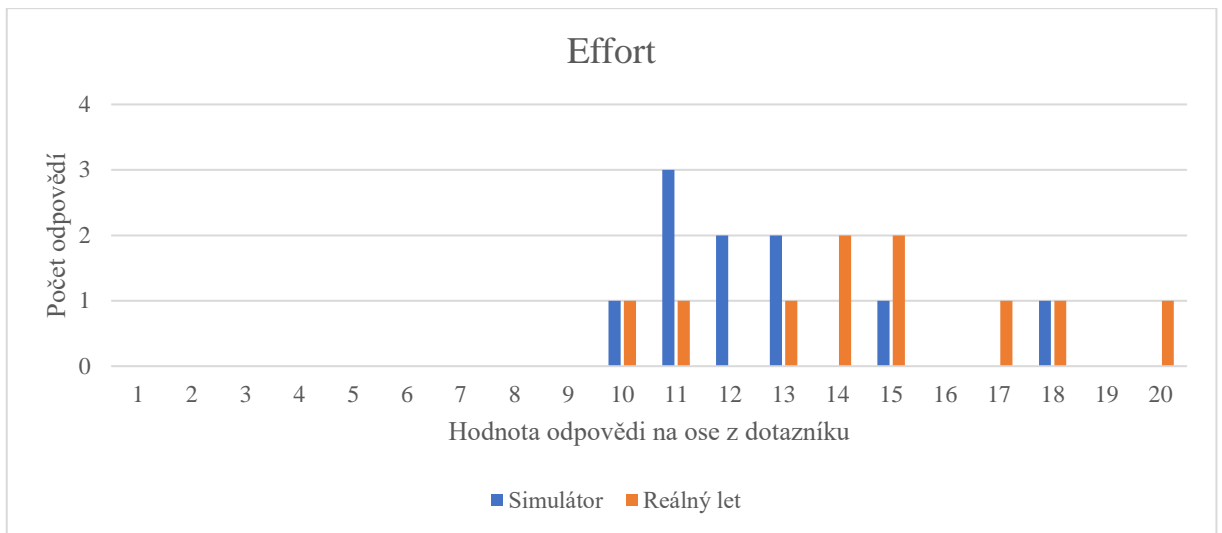
Obr. 44 Výsledky z dotazníku NASA Task Load Index. Subjektivně pocíťovaná fyzická náročnost.



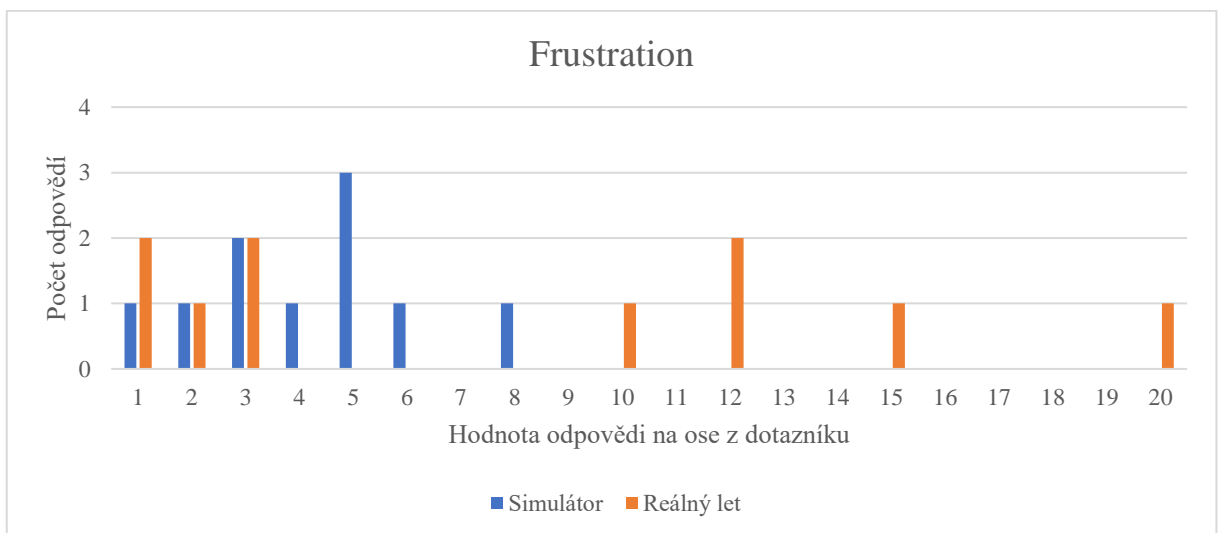
Obr. 45 Výsledky z dotazníku NASA Task Load Index. Subjektivně pocíťovaný spěch.



Obr. 46 Výsledky z dotazníku NASA Task Load Index. Subjektivní pocit úspěšnosti v plnění úkolů.



Obr. 47 Výsledky z dotazníku NASA Task Load Index. Subjektivně pociťovaná požadovaná míra snahy.



Obr. 48 Výsledky z dotazníku NASA Task Load Index. Subjektivně pociťovaná frustrace.

Odpovědi získané z dotazníku NASA Task Load Index ukazují, že subjektivně pociťovaná psychická náročnost byla spíše vyšší, a to jak na simulátoru, tak i v reálném letounu. Naopak subjektivně pociťovaná fyzická náročnost byla spíše nižší. Subjektivně pociťovaný spěch byl na simulátoru nízký, ale v reálném letounu se zvýšil. Distribuce odpovědí byla v hodnocení subjektivního pocitu úspěšnosti v plnění úkolů podobná jako v hodnocení subjektivně pociťovaného spěchu a subjektivně pociťované fyzické náročnosti. Subjektivně pociťovaná požadovaná míra snahy byla vysoká jak na simulátoru, tak i v reálném letounu. Subjektivně pociťovaná frustrace se oproti simulátoru, kde byla spíše nižší, v reálném letounu značně zvýšila, a to zejména u neúspěšných účastníků, kteří byli frustrovaní ze skutečnosti, že při reálném letu podali horší výkon ve srovnání s výkonem na simulátoru.



## 4. DISKUZE

V první řadě, než bude zahájena diskuze, je důležité zdůraznit skutečnost, že experimentu se zúčastnilo pouze 10 lidí. Není tedy možné vyvozovat globální závěry aplikovatelné pro celý plachtařský či GA svět. Naopak to však ani není příliš malý vzorek lidí a jisté výsledky experiment přinesl. Následující diskuze tedy vychází z naměřených hodnot na vzorku 10 lidí a platí pouze pro tyto účastníky.

Pro nálet byl proveden pouze Mann-Whitney U-test, protože se pomocí Shapiro-Wilk testu nepodařilo prokázat, že by skupina úspěšných účastníků odpovídala Gaussovu normálnímu rozdělení. Výsledky F-testu naznačují, že rozdíl mezi směrodatnými odchylkami daných vzorků není dostatečně velký, aby byl statisticky signifikantní, a zároveň výsledky Shapiro-Wilk testu naznačují, že na počet přistání a věk lze použít Studentův T-test. Pro počet přistání a věk tedy byly provedeny Mann-Whitney U-test i Studentův T-test. Výsledky Mann-Whitney U-testu a výsledky Studentova T-testu naznačují, že na zvolené hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  neexistuje dostatek důkazů pro vyvrácení nulové hypotézy. Nepodařilo se tedy potvrdit, že by nálet, počet přistání ani věk jednotlivých účastníků měly vliv na míru úspěšnosti účastníků v experimentu.

Délka výcviku na simulátoru byla velice proměnlivá a individuální. Někomu stačil výcvik o délce 3 hodin čistého času, výcvik byl tedy úspěšně dokončen za 1 den. Někdo však výcvik zvládl až za 16 hodin, přičemž výcvik byl rozdělen do 4 dní (výcvik trval maximálně 4 hodiny denně, aby byl zachován soulad s předpisy EASA na maximální délku výcviku za den). Někteří účastníci se potýkali s těžkostmi při zvykání si na prostředí virtuální reality a zažívali „motání“ hlavy. Jeden účastník dokonce musel z experimentu odstoupit, protože zažíval (a to i přes možnost dopřát si několik přestávek) tak nepříjemné pocity, že nebyl schopen dále pokračovat ve výcviku. Toto jsou důležité poznatky a měly by být zváženy a zohledněny při případné certifikaci virtuální reality jakožto schváleného simulátoru.

Srovnání závěrečných 3 měřených okruhů letěných na simulátoru se 3 okruhy letěnými ve skutečném letounu přineslo několik zajímavých výsledků. Bylo zjištěno, že obecně vzato je létání na simulátoru relativně snadno naučitelné, protože všichni účastníci dokázali po dostatečně dlouhém tréninku zaletět 3 za sebou jdoucí bezpečné okruhy s konstantními výkony bez větších výkyvů (s výjimkou podrovnání – tomu je věnován jeden z dalších odstavců níže). Simulátor na bázi virtuální reality je, dle vyjádření instruktora, vhodný zejména pro nácvik postupů v kokpitu letounu.

Z dat naměřených ve fázi stoupání lze spočítat, že na simulátoru měli účastníci průměrnou rychlost i medián rychlosti 69,3 uzlů indikované vzdušné rychlosti. Směrodatná odchylka byla spočítána na hodnotu 2,1 uzlů. V reálném letounu měli účastníci průměrnou rychlost a medián rychlosti 71,7, respektive 72 uzlů. Směrodatná odchylka byla 4,9 uzlů. Dolní a horní hranice rychlostí byly osnovou nastaveny na 65, respektive 80 uzlů. Směrodatná odchylka ve stoupání při letu skutečným letounem je násobně vyšší než směrodatná odchylka ve stoupání naměřená na simulátoru. Na simulátoru se několik účastníků na malou chvíli dostalo na 64 uzlů, což je 1 uzel pod limitem, nicméně v případě 1 uzlu se nejedná o velkou chybu. O účastníkovi číslo 7 se dá říci, že měl při reálném letu problémy s klesající rychlostí a několik dalších účastníků se na malou chvíli dostalo o 1 uzel pod či nad limit, ale žádná z těchto chyb neměla potenciál způsobit vážnější problémy. Ojedinele se stalo, že byl nějaký účastník překvapen tendencí letounu stoupat po odpoutání (a instruktor musel zasáhnout), ale jakmile se to danému účastníkovi jednou stalo, chybu si uvědomil a v dalších letech už s tím neměl problém. Lze tedy říci, že pro fázi stoupání je virtuální realita vhodným nástrojem pro trénink.

Z dat naměřených ve fázi horizontálního letu vidíme, že na simulátoru měli účastníci průměrnou výšku a medián výšky 1 509, respektive 1 505 stop nad střední hladinou moře. Směrodatná odchylka měla hodnotu 39,2 stop. V reálném letounu měli účastníci průměrnou výšku a medián výšky 1 507, respektive 1 497 stop. Směrodatná odchylka činila 83,6 stop. Dolní a horní hranice výšky byly osnovou nastaveny na 1 400, respektive 1 600 stop. Směrodatná odchylka ve stoupání při letu skutečným letounem je i zde násobně vyšší než směrodatná odchylka ve stoupání naměřená na simulátoru. Na simulátoru neměli účastníci problém udržet výšku v daných limitech. Při reálném letu se udržování výšky nedařilo zejména účastníkům číslo 5 a 7, kteří se „zapomněli“ ve stoupání a svoji chybu si uvědomili až později ve větší výšce. Někteří další účastníci se sice nevešli do limitu 1 400 až 1 600 stop, ale alespoň jim výška nekolísala o větší hodnoty (například účastníci 1 a 4) a let tedy mohl být vyhodnocený jako bezpečný, ačkoliv byl spodní limit mírně překročen. Lze tedy říci, že pro fázi horizontálního letu je virtuální realita vhodným nástrojem pro trénink, ale je nutné jej doplnit tréninkem i ve skutečném letounu, aby se žákům nestávalo, že zapomenou letoun převést do horizontálního letu včas (nebo to udělají příliš brzy). Toto opomenutí může být způsobeno přílišnou koncentrací na udržování správné rychlosti ve stoupání a z toho plynoucí nedostatečná kontrola výškoměru.

Z dat naměřených ve fázi klesání vidíme, že na simulátoru měli účastníci průměrnou rychlost i medián rychlosti 66,4 uzlů indikované vzdušné rychlosti. Směrodatná odchylka měla hodnotu

2,7 uzlů. V reálném letounu měli účastníci průměrnou rychlost i medián rychlosti 67,2 uzlů. Směrodatná odchylka činila 4,2 uzlů. Dolní a horní hranice rychlostí byly osnovou nastaveny na 60, respektive 75 uzlů. Směrodatná odchylka v klesání při letu skutečným letounem byla i zde vyšší než směrodatná odchylka v klesání naměřená na simulátoru. Z grafu pro simulátorový let lze vizuálně vyčíst, že se všichni účastníci pohybovali uvnitř limitů. Při reálném letu se i v této fázi objevily určité problémy, jmenovitě u účastníka číslo 3 se jednalo o kolísání rychlosti zejména směrem dolů a u účastníka číslo 10 se jednalo o příliš vysokou rychlost. Lze tedy říci, že pro fázi klesání je virtuální realita vhodným nástrojem pro trénink, ale stejně jako v případě tréninku letu v horizontu je vhodné výcvik doplnit lekcí ve skutečném letounu.

Jako pověstný „kámen úrazu“ se ukázala finální fáze přiblížení, počínaje přechodovým obloukem. Přechodový oblouk, podrovnání, výdrž a dosednutí byla značně problematická část experimentu, a to jak na simulátoru, tak ve skutečném letounu. Názornou ilustraci poskytuje graf na obrázku 39. S výjimkou účastníka číslo 2 se nikomu nepodařilo předvést 3 „hladká“ přistání za sebou. Při rozhovorech s účastníky se pravděpodobný problém ukázal být ve výšce sezení pilota. Všichni účastníci jsou plachtaři, takže jsou zvyklí v kluzáku sedět v pololeže a velice nízko nad zemí. V Cessně 172 piloti naproti tomu sedí jako na židli a výška jejich očí je mnohem výše v porovnání s kluzákem. Tento faktor tedy pravděpodobně způsobil opakované chybné vyhodnocení výšky v přechodovém oblouku z důvodu naučených zvyků z kluzáku. Vyjádření instruktora také obsahovalo fakt, že u všech neúspěšných účastníků to byl také rozhodující faktor jejich neúspěchu. U účastníka číslo 3 byl navíc druhý rozhodující faktor příliš nízká rychlost při jednom přiblížení ve skutečném letounu.

I dotazníkové šetření přineslo řadu zajímavých poznatků do diskuze. V podstatě všichni účastníci (až na účastníka číslo 3, který už od začátku tušil, že má problémy a možná nebude úspěšný) uvedli, že jsou s výcvikem na simulátoru subjektivně spokojeni a že se cítí být dobře připraveni na let skutečným letounem. V dotaznících, které účastníci dostali po reálném letu, se však odpovědi posunuly do „horších čísel“, protože mnozí účastníci přecenili své schopnosti. I pouhým vizuálním pohledem na grafy obrázcích 43 až 48 lze posunutí v sebehodnocení jasně spatřovat. Z těchto grafů a z tabulky číslo 3 lze říci, že výcvik na simulátoru na bázi virtuální reality může být pro některé lidi vhodnou formou tréninku, ale u další, nezanedbatelné části lidí může tento výcvik vyvolávat falešné pocity úspěchu, což se může ukázat jako velice nebezpečný problém s potenciálně katastrofickými následky. Jedná se o zajímavé zjištění,

protože šetření tohoto fenoménu nebylo v původním plánu diplomové práce, ale ukázal se až později v průběhu experimentu.

## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo zjistit, zda držitelé SPL získají potřebné kompetence pro první sólo let na letounu pouze s využitím virtuální reality. Byla provedena rešerše, při které bylo zjištěno, že tato oblast není dostatečně prozkoumána. Byla tedy vyvinuta příslušná experimentální metodika, která byla aplikována na 10 pilotů, držitelů SPL, kteří byli podrobena výcviku na simulátoru v prostředí virtuální reality. Poté byli požádáni o zaletění 3 okruhů ve skutečném letounu (s instruktorem na palubě). Tato data byla poté porovnána. Pro experiment byla využita pomoc dvou zkušených letových instruktorů, kteří zajistili dohled nad teoretickou i praktickou výukou účastníků, aby byla zajištěna objektivní kontrola postupu experimentu a bezpečné provedení experimentu v reálném letounu. Bylo zjištěno, že virtuální realita je v dnešní době vhodná pomůcka na vybrané části PPL výcviku, ale výcvik je vhodné doplnit klasickým výcvikem na skutečném letounu a nespoléhat se pouze na virtuální realitu. Kritickým (navíc původně nečekaným) zjištěním byla skutečnost, že virtuální realita může u některých držitelů SPL vyvolávat falešný pocit úspěchu, což může mít katastrofické následky z hlediska bezpečnosti a ztrát na životech.

Během zpracovávání diplomové práce byl Agenturou Evropské unie pro bezpečnost letectví certifikován první simulátor na bázi virtuální reality. Tento simulátor je zmíněn v rešerši. Jedná se však o simulátor vrtulníku (Robinson R-44 Raven II), proto i nadále zůstalo téma diplomové práce aktuální, neboť tato práce se zabývá simulátorem pro letouny.

Jaký je tedy přínos této diplomové práce? Sečteno a podtrženo, celkově se tedy dá říci, že virtuální realita je vhodná zejména pro nácvik postupů v kokpitu letounu. Je možné ji použít i pro nácvik stoupání, horizontálního letu i klesání, ale pravděpodobně bude nutné takový výcvik provázat s výcvikem i na skutečném letounu, aby si žák vyzkoušel drobné rozdíly v řízení obou platforem. Virtuální realita není v případě plachtařů příliš vhodná pro nácvik přechodového oblouku a podrovnání, protože ačkoliv virtuální realita zvládá zobrazovat vzdálenosti a hloubky lépe než obyčejný monitor či projektor, zobrazení hloubky stále není dokonalé a neodpovídá realitě na 100 %, z čehož pak plynou problémy při letu skutečným letounem, protože plachtaři jsou stále zvyklí na jinou výšku podrovnání.

Diplomová práce pokrývá všechny body ze zadání, nicméně se však musela vypořádat s určitými omezeními. Limitace považovaná za primární v tomto ohledu je malá velikost vzorku účastníků. Použitý hardware navíc představuje další limitaci, protože se jednalo o univerzální hardware použitelný pro simulaci více typů letounů – a tím mohl hardware případně zasáhnout

do výsledků. Závěry této práce tedy lze aplikovat pouze na daný vzorek SPL pilotů vycvičených s použitím daného hardwaru.

I přes výše uvedená omezení si tato práce zachovává svou výzkumnou hodnotu. V současné době tato oblast pilotního výcviku není moc prozkoumána, a tato studie tedy přináší první vhled do této problematiky: je to jediná studie, která šetří možnost využití virtuální reality pro přechod z licence SPL na licenci PPL. Přestože její zjištění nelze vzhledem k celkové velikosti vzorku zobecnit, tato práce stále slouží jako základ pro další výzkum v této oblasti, který může navázat na zde zjištěné skutečnosti.

Na závěr autor přidává ještě několik finálních slov. Jednalo se o časově i finančně náročný experiment, přičemž financování proběhlo z prostředků autora, a proto měl autor velkou motivaci být pečlivý a klást důraz na správné provedení všech částí experimentu. Z časového pohledu bylo náročné najít termíny, kdy se experimentu mohli zúčastnit jak daný účastník, tak i instruktor a byl také k dispozici letoun a bylo vhodné počasí. Nebylo to jednoduché, ale povedlo se splnit vytyčené cíle včas a v plánovaném rozsahu, a práce tak mohla být dokončena v termínu.

Létání je věc, kterou máme všichni z Fakulty dopravní ČVUT rádi a doufám, že tato práce poslouží jako dobrý základ pro další výzkum v této oblasti a přispěje k rozvoji pilotních výcviků s využitím virtuální reality. Věřím, že postupem času a díky dalšímu výzkumu v této oblasti virtuální realita naplno pronikne i do světa letectví a výcvik pilotů pokročí na další úroveň efektivity a bezpečnosti.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] GIGANTE, Michael. *Virtual Reality: Definitions, History and Applications*. Melbourne: Academic Press, 1993. ISBN 0-12-227748-1. Royal Melbourne Institute of Technology, Advanced Computer Graphics Centre.
- [2] FEDOROV, Nikita. The History of Virtual Reality. *Ava Direct* [online]. August 14, 2015 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: [avadirect.com/blog/the-history-of-virtual-reality/](http://avadirect.com/blog/the-history-of-virtual-reality/)
- [3] BYE, Kent. Fred Brooks on Ivan Sutherland's 1965 "Ultimate Display" Speech. *Road to VR* [online]. May 10, 2016 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: [roadtovr.com/fred-brooks-ivan-sutherlands-1965-ultimate-display-speech/](http://roadtovr.com/fred-brooks-ivan-sutherlands-1965-ultimate-display-speech/)
- [4] FURNESS, Thomas. *THE SUPER COCKPIT AND ITS HUMAN FACTORS CHALLENGES*. 1986. Dostupné z: doi:10.1177/154193128603000112
- [5] JÄRVINEN, Aki. The Reality Files #10. *The Reality Files* [online]. Oct 27, 2021 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: [medium.com/the-reality-files/the-reality-files-10-58325e3d891d](https://medium.com/the-reality-files/the-reality-files-10-58325e3d891d)
- [6] FISHER, S.S., M. MCGREEVY, J. HUMPHRIES a W. ROBINETT. *VIRTUAL ENVIRONMENT DISPLAY SYSTEM*. 1987. Dostupné z: doi:10.1145/319120.319127
- [7] 1989. NASA's Virtual Visual Environment Display (VIVED). *Reddit* [online]. May 18, 2016 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: [reddit.com/r/oculus/comments/4jvc2o/1989\\_nasas\\_virtual\\_visual\\_environment\\_display/](https://reddit.com/r/oculus/comments/4jvc2o/1989_nasas_virtual_visual_environment_display/)
- [8] ALQAHTANI, Asmaa Saeed, Lamyia Foaud DAGHESTANI a Lamiaa Fattouh IBRAHIM. Environments and System Types of Virtual Reality Technology in STEM: A Survey. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. No. 6, 2017.
- [9] MARTIROSOV, Sergo, Marek BUREŠ a Tomáš ZÍTKA. Cyber sickness in low-immersive, semi-immersive, and fully immersive virtual reality. *Virtual Reality*. 19 May 2021n. 1. Dostupné z: doi: doi.org/10.1007/s10055-021-00507-4
- [10] EVANS, Craig. Virtual Reality: The Journey From Unclear Future To Digital Transformation. *Curious Vision* [online]. May 3, 2019 [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: [curiousvision.com.au/virtual-reality-the-journey-from-unclear-future-to-digital-transformation/](http://curiousvision.com.au/virtual-reality-the-journey-from-unclear-future-to-digital-transformation/)

- [11] HUGUEN, Philippe. What is VR? The devices and apps that turn the real world virtual. *NBC News* [online]. March 15, 2018 [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: [nbcnews.com/mach/science/what-vr-devices-apps-turn-real-world-virtual-ncna857001](https://www.nbcnews.com/mach/science/what-vr-devices-apps-turn-real-world-virtual-ncna857001)
- [12] Virtual Reality & Flight Training. *VRpilot* [online]. [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: [vrpilot.aero/virtual-reality-flight-training/](https://vrpilot.aero/virtual-reality-flight-training/)
- [13] About the Robinson R22 FSTD. *VRMotion* [online]. [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: [vrm-switzerland.ch/flight-training-solutions/products/r22-simulator/](https://vrm-switzerland.ch/flight-training-solutions/products/r22-simulator/)
- [14] WILDES, Michael. Virtual Reality in Flight Training: More Than a Fad. *Flying* [online]. December 20, 2021 [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: [flyingmag.com/virtual-reality-in-flight-training-more-than-a-fad/](https://flyingmag.com/virtual-reality-in-flight-training-more-than-a-fad/)
- [15] EASA approves the first Virtual Reality (VR) based Flight Simulation Training Device. *EASA* [online]. 26 Apr 2021 [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: [easa.europa.eu/newsroom-and-events/press-releases/easa-approves-first-virtual-reality-vr-based-flight-simulation](https://easa.europa.eu/newsroom-and-events/press-releases/easa-approves-first-virtual-reality-vr-based-flight-simulation)
- [16] *Program výcviku DTO PPL(A): Výcvikový program pro teoretický a letový výcvik PPL(A)*. 2019. [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/wp-content/uploads/2021/04/CAA-VP-142-3-Vyuka-teoreticky-znalosti-a-letovy-vycvik-PPLA.docx?cb=a2f8fe31cd95a534bbf95876bd87e77a>
- [17] *King Schools: Cessna Flight Training* [online]. [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: [https://cessnaflighttraining.kingschools.com/secure/ccf/ccfppv1/documents/Sport\\_Private%20Syllabus.pdf](https://cessnaflighttraining.kingschools.com/secure/ccf/ccfppv1/documents/Sport_Private%20Syllabus.pdf)
- [18] *VFR příručka* [online]. 2022 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: [aim.rlp.cz/vfrmanual/actual/lkcm\\_text\\_cz.html](https://aim.rlp.cz/vfrmanual/actual/lkcm_text_cz.html)
- [19] Technická data C172. *Herbst Aero* [online]. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: [herbstaero.cz/cessna-172/#tabs-data](https://herbstaero.cz/cessna-172/#tabs-data)
- [20] *Logitech: FLIGHT YOKE SYSTEM PROFESSIONAL SIMULATION YOKE AND THROTTLE QUADRANT* [online]. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: [logitechg.com/cs-cz/products/flight/flight-simulator-yoke-system.945-000004.html#product-tech-specs](https://logitechg.com/cs-cz/products/flight/flight-simulator-yoke-system.945-000004.html#product-tech-specs)
- [21] *Thrustmaster: T.Flight Rudder Pedals* [online]. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: [thrustmaster.com/en-us/products/t-flight-rudder-pedals/](https://thrustmaster.com/en-us/products/t-flight-rudder-pedals/)
- [22] Samsung's New Windows Mixed Reality Headset HMD Odyssey+. *Samsung* [online]. Oct 26, 2018 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: [samsung.com/hk\\_en/news/product/reality-headset-hmd-odyssey-plus/](https://samsung.com/hk_en/news/product/reality-headset-hmd-odyssey-plus/)



- [23] Meet X-Plane: What is X-Plane?. *X-Plane 11* [online]. [cit. 2022-04-04].  
Dostupné z: [x-plane.com/desktop/meet\\_x-plane/](http://x-plane.com/desktop/meet_x-plane/)
- [24] X-Plane 11 Desktop Manual. *X-Plane 11* [online]. 16 August 2021 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: [x-plane.com/manuals/desktop/#changingtheenvironment](http://x-plane.com/manuals/desktop/#changingtheenvironment)
- [25] Zkušební otázky pro zkoušky z teoretických znalostí PPL / LAPL. *Úřad pro civilní letectví* [online]. [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: [caa.cz/zkusebni-otazky-pro-zkousky-teoreticky-znalosti-ppl-lapl/](http://caa.cz/zkusebni-otazky-pro-zkousky-teoreticky-znalosti-ppl-lapl/)
- [26] NASA TLX: PAPER/PENCIL VERSION. *NASA* [online]. August 15, 2019 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z:  
[humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx/tlxpaperpencil.php](http://humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx/tlxpaperpencil.php)
- [27] Shapiro-Wilk Test: Definition, How to Run it in SPSS. *Statistics How To* [online]. March 28, 2022 [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: [statisticshowto.com/shapiro-wilk-test/](http://statisticshowto.com/shapiro-wilk-test/)
- [28] F-Test. *Statistics How To* [online]. [cit. 2022-04-10]. Dostupné z:  
[statisticshowto.com/probability-and-statistics/hypothesis-testing/f-test/](http://statisticshowto.com/probability-and-statistics/hypothesis-testing/f-test/)
- [29] LAMORTE, Wayne. *Mann Whitney U Test (Wilcoxon Rank Sum Test)* [online]. 2017, May 4, 2017 [cit. 2022-04-10]. Dostupné z:  
[sphweb.bumc.bu.edu/otlt/mph-modules/bs/bs704\\_nonparametric/bs704\\_nonparametric4.html](http://sphweb.bumc.bu.edu/otlt/mph-modules/bs/bs704_nonparametric/bs704_nonparametric4.html)
- [30] GLEICHMANN, Nicole. *Paired vs Unpaired T-Test: Differences, Assumptions and Hypotheses* [online]. February 14, 2020 [cit. 2022-04-10]. Dostupné z:  
[technologynetworks.com/informatics/articles/paired-vs-unpaired-t-test-differences-assumptions-and-hypotheses-330826](http://technologynetworks.com/informatics/articles/paired-vs-unpaired-t-test-differences-assumptions-and-hypotheses-330826)

## ZKRATKY A SYMBOLY

$\alpha$	alfa
°	stupeň
+	plus
-	mínus
3D	trojdimenzionální
ACFT	Aircraft (letadlo)
AMOLED	Active Matrix Organic Light Emitting Diode
AMSL	Above Mean Sea Level (nad střední hladinou moře)
Anti-SDE	Anti Screen-door Effect
ASDA	Accelerate Stop Distance Available
atd.	a tak dále
atp.	a tak podobně
ATZ	Aerodrome Traffic Zone (letištní provozní zóna)
BBC	British Broadcasting Corporation
cm	centimetr
CTR	Control zone (řízený okrsek)
č.	číslo
ČVUT	České vysoké učení technické
EASA	European Union Aviation Safety Agency (Agentura Evropské unie pro bezpečnost letectví)
ELEV	Elevation (nadmořská výška)
FCL	Flight Crew Licensing (předpis upravující licencování letových posádek)
FD	Fakulta dopravní
FI(A)	Flight Instructor (Aeroplanes) (letový instruktor (letouny))
FNPT	Flight and Navigation Procedures Trainer (trenažér letových navigačních postupů)
FPS	Frames Per Second (snímky za sekundu)
ft	feet (stopy)
ft/min	feet fer minute (stopy za minutu)
g	gram
GA	General Aviation (všeobecné letectví)

G <sub>z</sub>	Přetížení ve směru hlava-nohy
h	hodina
HMD	Head-mounted Display (displej nasazený na hlavě)
HP	Horsepower (koňská síla)
HTC	<i>Název firmy</i>
Hz	Hertz
ICAO	International Civil Aviation Organization (Mezinárodní organizace pro civilní letectví)
IFR	Instrument Flight Rules (pravidla letu podle přístrojů)
KIAS	Knots Indicated Airspeed (uzly indikované vzdušné rychlosti)
lbs	pounds (libry)
LDA	Landing Distance Available
LKCM	<i>ICAO kód letiště Medlánky</i>
např.	například
NASA	National Aeronautics and Space Administration (Národní úřad pro letectví a vesmír)
NM	Nautical Miles (námořní míle)
obr.	obrázek
pozn.	poznámka
PPL(A)	Private Pilot Licence (Aeroplanes) (průkaz soukromého pilota (letouny))
resp.	respektive
RWY	Runway (vzletová a přistávací dráha)
SLZ	Sportovní létající zařízení
SPL	Sailplane Pilot Licence (průkaz pilota kluzáků)
tab.	tabulka
TMA	Terminal Control Area (koncová řízená oblast)
TODA	Take-off Distance Available
TORA	Take-off Run Available
TRA	Temporary Reserved Area (dočasně rezervovaný prostor)
TRA GA	Temporary Reserved Area – General Aviation (dočasně rezervovaný prostor určený pro provoz všeobecného letectví)
TWY	Taxiway (pojízďeční dráha)
tzn.	to znamená

tzv.	takzvané
USGAL	United States Gallon (americký galon)
VCASS	Visually Coupled Airborne Systems Simulator ( <i>druh přístroje pro virtuální realitu</i> )
VFR	Visual Flight Rules (pravidla letu za vidu)
VIEW	Virtual Interactive Environment Workstation ( <i>druh přístroje pro virtuální realitu</i> )
VIVED	Virtual Visual Environment Display ( <i>druh přístroje pro virtuální realitu</i> )
VR	Virtuální realita
$V_y$	Rychlost letu pro nejlepší rychlost stoupání

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Systém Sensorama. Zdroj: [2] .....	13
Obr. 2 The ultimate display. Zdroj: [3].....	14
Obr. 3 Pohled z okna letadla přes VCASS. Zdroj: [5].....	15
Obr. 4 Přístroj VIEW. Zdroj: [7] .....	16
Obr. 5 Částečně pohlcující forma virtuální reality. Zdroj: [10].....	18
Obr. 6 Plně pohlcující forma virtuální reality. Zdroj: [11] .....	19
Obr. 7 Vnímání vzdálenosti na zakřivené obrazovce. Zdroj: [12].....	22
Obr. 8 Vnímání vzdálenosti ve virtuální realitě. Zdroj: [12] .....	23
Obr. 9 Zorné pole tradičního simulátoru. Zdroj: [12].....	23
Obr. 10 Zorné pole virtuální reality. Zdroj: [12] .....	24
Obr. 11 Simulátor na bázi virtuální reality. Zdroj: [13].....	25
Obr. 12 Pohled do virtuálního kokpitu vrtulníku Robinson R22 Beta II. Zdroj: [13] .....	26
Obr. 13 Poloha letiště Medlánky s ohledem na okolní vzdušné prostory (ICAO mapa, měřítko 500 000:1). Zdroj: [18] .....	30
Obr. 14 Mapa letiště Medlánky. Zdroj: [18].....	32
Obr. 15 Pohled do kokpitu Cessny 172M OK-GKG. Zdroj: archiv autora. ....	34
Obr. 16 Cessna 172M OK-GKG. Zdroj: archiv autora.....	34
Obr. 17 Pohled do kokpitu Cessny 172M OK-HKD. Zdroj: archiv autora. ....	35
Obr. 18 Cessna 172M OK-HKD. Zdroj: archiv autora.....	35
Obr. 19 Flight Yoke System and Throttle Quadrant. Zdroj: archiv autora.....	36
Obr. 20 T.Flight Rudder Pedals. Zdroj: archiv autora. ....	37
Obr. 21 Samsung HMD Odyssey+. Zdroj: archiv autora. ....	38
Obr. 22 Výsledná sestava pro simulátorový výcvik. Zdroj: archiv autora. ....	39
Obr. 23 Cessna 172 v simulátoru X-Plane 11. Zdroj: archiv autora, snímek obrazovky ze softwaru X-Plane 11. ....	40
Obr. 24 Kokpit Cessny 172 v simulátoru X-Plane 11. Zdroj: archiv autora, snímek obrazovky ze softwaru X-Plane 11.....	41
Obr. 25 NASA Task Load Index. Zdroj: [26].....	47
Obr. 26 Graf závislosti výšky a rychlosti na čase. Náhodně vybraný úspěšný účastník, 3 závěrečné okruhy na simulátoru. ....	52
Obr. 27 Graf trajektorie letu. Náhodně vybraný účastník, 3 závěrečné okruhy na simulátoru.	53
Obr. 28 Úspěšnost udržování výšky v horizontálním letu na okruhu.....	54

Obr. 29 Úspěšnost udržování rychlosti ve stoupání na okruhu. ....	55
Obr. 30 Úspěšnost udržování rychlosti v klesání na okruhu. ....	56
Obr. 31 Graf výšky pro 1., 2. a 3. okruh ve skutečném letounu. ....	57
Obr. 32 Trajektorie letu pro 1., 2. a 3. okruh ve skutečném letounu. ....	57
Obr. 33 Úspěšnost udržování výšky v horizontálním letu na okruhu. Simulátor. ....	60
Obr. 34 Úspěšnost udržování výšky v horizontálním letu na okruhu. Reálný let. ....	61
Obr. 35 Úspěšnost udržování rychlosti ve stoupání na okruhu. Simulátor.....	62
Obr. 36 Úspěšnost udržování rychlosti ve stoupání na okruhu. Reálný let. ....	63
Obr. 37 Úspěšnost udržování rychlosti v klesání na okruhu. Simulátor.....	64
Obr. 38 Úspěšnost udržování rychlosti v klesání na okruhu. Reálný let. ....	65
Obr. 39 Hodnota nejvyššího zaznamenaného přetížení při přistání. Simulátor.....	66
Obr. 40 Výsledky autorem vytvořeného dotazníku, který účastníci vyplňovali po výcviku na simulátoru. ....	67
Obr. 41 Výsledky autorem vytvořeného dotazníku, který účastníci vyplňovali po reálném letu. ....	69
Obr. 42 Příklad klíče pro vyhodnocení dotazníku NASA Task Load Index s označeným polem číslo 7. ....	70
Obr. 43 Výsledky z dotazníku NASA Task Load Index. Subjektivně pocíťovaná psychická náročnost. ....	70
Obr. 44 Výsledky z dotazníku NASA Task Load Index. Subjektivně pocíťovaná fyzická náročnost. ....	71
Obr. 45 Výsledky z dotazníku NASA Task Load Index. Subjektivně pocíťovaný spěch. ....	71
Obr. 46 Výsledky z dotazníku NASA Task Load Index. Subjektivní pocit úspěšnosti v plnění úkolů. ....	71
Obr. 47 Výsledky z dotazníku NASA Task Load Index. Subjektivně pocíťovaná požadovaná míra snahy. ....	72
Obr. 48 Výsledky z dotazníku NASA Task Load Index. Subjektivně pocíťovaná frustrace. ...	72

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Základní parametry letounů použitých v experimentu. Zdroj: provozní příručky obou letounů. ....	33
Tab. 2 Osnova pilotního výcviku ve virtuální realitě. ....	43
Tab. 3 Shrnutí jednotlivých účastníků. ....	58

# SEZNAM PŘÍLOH

**Příloha č. 1** – komentáře instruktorů k výkonu každého účastníka



## **Příloha č. 1**

Účastník č. 1:

*„Student přišel na experiment teoreticky dobře připravený. V letounu se orientoval dobře a na simulátoru splnil osnovu relativně rychle. Student měl sice nižší nálet na kluzácích, což se nakonec možná projevilo pozitivně v tom, že u něho nebyly pozorovány naučené postupy na kluzácích v takové míře, jako tomu bylo u ostatních účastníků. Vzlety student prováděl bezpečně a v souladu s postupy, které se naučil na simulátoru. Přejít do horizontálního letu a let v horizontu student prováděl mírně pod okružovou výškou, ale stále v bezpečných limitech. Převod letadla do přistávací konfigurace student zvládal bez pomoci. Přistání, ač na simulátoru byla tvrdší, také zvládl samostatně, a to pravděpodobně díky dobré schopnosti adaptace na reálné letadlo. Student tedy uspěl.“*

Účastník č. 2:

*„Student prošel simulátorovým tréninkem nejrychleji ze všech účastníků. Na studentovi bylo vidět, že ví, co dělá. Kvalita a přesnost pilotáže byly na vysoké úrovni. K tomuto studentovi toho není moc co říct. Jak na simulátoru, tak v reálném letadle zvládl provést všechny části bezpečně, dokázal i třikrát sám přistát. V experimentu uspěl.“*

Účastník č. 3:

*„Student prošel teoretickým výcvikem rychle. Na simulátoru student strávil delší dobu, protože se učil pomalu. Nejvíce času strávil ve 4. bloku při tréninku přistání. Na studentovi bylo vidět, že v reálném (motorovém – pozn. autora) letadle sedí poprvé. Bylo vidět nejistota a nervozita, což samozřejmě snižuje pravděpodobnost úspěchu. Studentovi jsem předal řízení na ranveji, kdy letadlo bylo kompletně připraveno na vzlet. Při prvním vzletu byl student schopen přidat plyn, byl schopný uřídit letadlo v přímém směru. Nevěnoval tolik pozornosti, aby odlehčil předové kolo, nicméně ve správné rychlosti provedl rotaci, odpoutal letadlo, ale poté nezachytil tendenci letadla ke stoupání a bez zásahu instruktora by došlo k přetažení letadla. Poté následovalo zavření klapek. Bylo vidět, že letadlo bylo na studenta spíše rychlé, protože student nepodchytil tendenci klopení letadla při zavření klapek a nepracoval dostatečně rychle s vyvážením. Po pomoci instruktora žák převedl letadlo do horizontu. V horizontální letu student zvládal letadlo uřídit bez komplikací. V poloze po větru student zazmatkoval a potřeboval pomoc instruktora. Při prvním letu si student zvykal na odezvy letadla a jednou mu rychlost na přiblížení klesla na 55 uzlů, bylo tedy potřeba ho na to upozornit. Při přechodovém*

*oblouku byl nutný zásah instruktora. Druhý vzlet byl lepší, správně podchycený, práce s vyvážením byla lepší. Činnost v poloze po větru byla také jistější. Na finále student snížil otáčky, přičemž došlo k poklesu přídě letadla, které student korigoval pozdě. Opět byl nutný zásah instruktora. Třetí vzlet byl v pořádku, postupy byly mnohem lepší. Přejít do horizontu byl bez problémů, zařazení do polohy po větru bez problémů, konfiguraci letadla na přistání student zvládl samostatně. Base leg a finále student zaletěl bez komplikací. Přejít do oblouku však byl vysoko, a proto byl nutný zásah instruktora. Přistání by možná bylo možné přežít, ale nebyl jsem přesvědčen o bezpečnosti provedení.“*

Účastník č. 4:

*„Ačkoliv má žák nalétáno pouze 103 hodin na kluzácích, prošel teoretickým výcvikem relativně hladce. Při tréninku na simulátoru zpočátku zažíval mírné motání hlavy v důsledku nového prostředí virtuální reality, ale po několika desítkách minut si zvykl a dále to nebyl problém. Při tréninku postupoval šikovně a učil se rychle. Úkony zvládal provádět přesně. Nejvíce času žák strávil na nácviku přiblížení a přistání, které ale ke konci tréninku zvládal provádět bezpečně. Žák si při prvním okruhu viditelně zvykal na letoun. Měl však již zkušenosti ze simulátoru a věděl, co má ve které chvíli dělat. Řízení letounu bylo místy trhavé, ale stále bezpečné. Provedení úkonů bylo přesné a ve vhodný čas. Let po okruhu byl z hlediska trajektorie v pořádku. První přistání bylo tvrdšího rázu, ale bylo stále v bezpečných mezích. Druhé a třetí přistání bylo lepší, protože si žák začal pomalu zvykat na letoun a jeho chování.“*

Účastník č. 5:

*„Na studentovi bylo pozorovatelné, že má menší nálet na kluzácích. Jak na simulátoru, tak v reálném letadle byly jeho lety zpočátku neustálené, místy nejisté. Osnovu na simulátoru nicméně po vhodném tréninku splnil. Při prvním letu žáka překvapilo místy odlišné chování letadla od simulátoru, což se projevilo nejistým řízením. Ve vzletu poté pokračoval standardním postupem, ale nebyla na něm vidět jistota, což se projevilo přestoupáním okružové výšky. Další problém, který se projevil u více lidí, byl ten, že studenti jsou zvyklí na naviják, takže měli tendenci po vzletu tahat letadlo nahoru. Po upozornění na tento problém si už studenti dávali pozor. Problém byl opět zejména v přechodovém oblouku, kdy jednou student provedl vysoké podrovnání a dvakrát by student nestihl letadlo podrovnat včas, kdyby instruktor nezasáhl.“*

Účastník č. 6:

*„Na studentovi bylo vidět, že je zkušený. Kvalita a přesnost pilotáže tomu odpovídaly. Simulátorovým výcvikem prošel rychle a bez větších problémů. Při letu reálným letadlem zvládl odstartovat, a ač mu kolísala rychlost, držel ji stále v bezpečných mezích. Zvládl i letět v horizontu, nicméně se projevil problém ve finálních fázích přistání, které bylo srovnatelné s účastníkem č. 5 a 10. Tento problém přisuzuji naučeným návykům z kluzáků, kde se oprava vadných přistání (odskoku) provádí jinak. Ač celý let probíhal bezpečně, přechodový oblouk nebyl zdařený a student tedy neuspěl.“*

Účastník č. 7:

*„Student strávil na simulátoru delší čas, než byl průměr. Výsledné naučené schopnosti však odpovídaly požadavkům osnovy. Při reálném letu jednou při vzletu neměl dostatečnou kontrolu nad letadlem, když letadlo po odpoutání mělo tendenci stoupat. Student nepotlačil řízení dostatečně energicky a musel jsem mu pomoci. I další vzlety student prováděl na spíše nižší rychlosti. Horizontální let nebyl ideální, protože žák při stoupání hlídal výškoměr a zapomněl převést letadlo do horizontálního letu včas, proto tato fáze letu probíhala výš, než bylo plánováno. Přiblížení nebylo tak strmé, jako u některých ostatních studentů, nicméně podrovnání student prováděl vysoko, respektive výše, než by bylo vhodné. V jednom případě by student bezpečně přistál, ale na sólo let bych ho zatím nepustil. Je nutný další výcvik, a to hlavně zaměřený na rozdíly mezi podrovnáním u kluzáku a motorového letadla.“*

Účastník č. 8:

*„Žák příjemně překvapil, protože ačkoliv na simulátoru mu často kolísala výška i rychlost, při reálném letu dokázal tyto hodnoty dostat pod kontrolu a tento problém se dále neprojevoval. U některých ostatních účastníků tomu bylo spíše naopak. Žák při reálném létání úspěšně aplikoval naučené postupy a znalosti, a proto v žádné fázi letu nebyl nutný zásah instruktora. Žák věděl, co musí ve které chvíli udělat a bylo z něho cítit zdravé sebevědomí. Kritickou fází letu, a to přechodový oblouk a podrovnání, žák zvládal dělat samostatně a bezpečně. Žák bez problémů uspěl.“*

Účastník č. 9:

*„Podobně jako účastník č. 8, i tento student příjemně překvapil, protože reálný let zvládl zaletět celkově lépe než let na simulátoru. U obou účastníků (číslo 8 a 9 – pozn. autora) bylo*

*pozorovatelné, že si rychle zvykli na motorové letadlo a dále neměli větší problémy s jeho řízením. Účastníka číslo 9 bych hodnotil velice podobně jako účastníka číslo 8, tedy úspěš.*“

Účastník č. 10:

*„Student působil pozitivním dojmem a bylo vidět, že se na simulátor i reálné létání těší. Simulátorový výcvik žák zvládl, ač mu občas některé letové parametry kolísaly a bylo potřeba ho odnaučit některé naučené zvyky z kluzáků. Co se týká reálných letů, vzlety byly v pořádku, student se snažil hlídat rychlost. Při stoupání a letu v horizontu žák řídil letadlo v pořádku a nedocházelo k nebezpečným situacím, nicméně při přistáních se opět projeví návyky z kluzáků. Student při všech třech letech nesprávně odhadl výšku podrovnání a byl nutný zásah instruktora.“*