



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
Ústav letecké dopravy

Náchylnost k vizuální iluzi poměru stran dráhy na simulátoru
Susceptibility to flight-simulator induced runway width visual
illusion

Bakalářská práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Technologie údržby letadel

Vedoucí práce: Ing. Liana Karapetjan

doc. Ing. Bc. Vladimír Socha, Ph.D.

Dmitriy Gobozov

Praha 2023

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K621.....Ústav letecké dopravy

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Dmitriy Gobozov

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – TUL – Technologie údržby letadel

Název tématu (česky): **Náchylnost k vizuální iluzi poměru stran dráhy
na simulátoru**

Název tématu (anglicky): Susceptibility to Flight-Simulator Induced Runway Width
Visual Illusion

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je ověřit, zda se dají vytvořit podmínky pro iluzi poměru stran dráhy při přiblížení na simulátoru.
- Vypracujte analýzu současného stavu v oblasti vizuálních iluzí s hlavním ohledem na tzv. iluzi poměru stran dráhy a identifikujte základní limitace.
- Navrhněte experiment s využitím virtuální reality a naměřte vhodná data pro exaktní hodnocení pilotáže a vytvořte dotazník pro subjektivní hodnocení navození dané iluze. Experiment vykonajte na reprezentativním vzorku subjektů.
- Naměřená letová data vyhodnoťte vhodnými metodami.
- Výsledky interpretujte a diskutujte.
- Stanovte závěry práce.



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Lintern, Gavan, et al. Scene Content and Runway Breadth Effects on Simulated Landing Approaches. THE INTERNATIONAL JOURNAL OF AVIATION PSYCHOLOGY. 1991.
Mertens, HW., et al. Effect of different runway sizes on pilot performance during simulated night landing approaches. 1981

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Liana Karapetjan**
doc. Ing. Bc. Vladimír Socha, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: **8. října 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 bakalářské práce: **30. listopadu 2023**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia


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




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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.


.....
Dmitriy Gobozov
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 8. srpna 2023



Abstrakt

Obrovské množství leteckých nehod bylo způsobeno vizuálními iluzemi a pro zvýšení bezpečnosti letu je nezbytné věnovat pozornost problémům lidského faktoru. Tato práce se zaměřuje na specifickou vizuální iluzi poměru stran přistávací dráhy. V teoretické části práce je představen základ pro pochopení problematiky v oblasti vizuálních iluzí, s primárním ohledem na tzv. iluzi poměru stran dráhy a provedena analýza současného stavu. Následná experimentální část práce je prováděna s využitím virtuální reality s cílem ověřit, zda se dají vytvořit podmínky pro iluzi poměru stran dráhy při přiblíženích na simulátoru. Praktického měření se zúčastnilo celkem 10 pilotů, kteří měli za úkol provést 3 přiblížení na dráhu o šířce 60 m, 30 m, 90 m a konstantní délkou. Výsledná naměřená data byly analyzována vhodnými statistickými metodami a potvrdila hypotézu o nalezení vlivu dané iluze během letu v simulovaném prostředí. V závěru práce jsou probrány limitaci a doporučení k rozvoji této problematiky a potřebný navazující výzkum.

Klíčová slova: iluze poměru stran dráhy, iluze tvaru dráhy, letectví, vizuální iluze, virtuální realita.



Abstract

A large number of aviation accidents have been caused by visual illusions, and for increased flight safety, it is essential to pay attention to the issues of the human factor. This work focuses on a specific runway width visual illusion. In the theoretical part, the foundation for understanding the issues in the field of visual illusions is presented, with primary emphasis on the so-called runway width illusion, and an analysis of the current state is conducted. The subsequent experimental part of the work is carried out using virtual reality to verify whether conditions for the runway width illusion can be created during approaches on a simulator. A total of 10 pilots participated in the practical measurements, who were tasked with performing 3 approaches to a runway with widths of 60 m, 30 m, 90 m, and a constant length. The resulting measured data were analyzed using appropriate statistical methods and confirmed the hypothesis of finding the influence of the given illusion during flight in a simulated environment. In conclusion, the limitations and recommendations for the development of this issue and the necessary subsequent research are discussed.

Keywords: aviation, runway width illusion, runway shape illusion, visual illusion, virtual reality.



Poděkování

Rad bych v první řadě poděkoval doc. Ing. Bc. Vladimíru Sochovi, Ph.D., především za jeho čas, trpělivost a obrovskou pomoc při psání bakalářské práce. Velké díky patří také mé rodině a kamarádům za jejich lásku a podporu během celého studia, bez které bych se nedostal až sem.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Náchylnost k vizuální iluzi poměru stran dráhy na simulátoru vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

Praze dne 30. listopadu 2023

Podpis



Obsah

Úvod	12
1. Teoretické základy práce	14
1.1 Lidský faktor v letectví	14
1.2 Prostorová dezorientace a vizuální iluze	16
1.3 Vizuální přiblížení	18
1.4 Základ vidění	18
1.5 Druhy vizuálních iluzí	22
1.5.1 Autokineze	22
1.5.2 Falešný horizont	23
1.5.3 Iluze černé díry	23
1.5.4 Iluze sklonu dráhy a sklonu terénu před drahou	24
1.5.5 Iluze poměru stran dráhy	26
1.6 Analýza současného stavu	28
2. Metoda	34
2.1 Prostorová dezorientace a vizuální iluze	34
2.2 Vybavení	35
2.3 Subjekty	36
2.4 Zpracování dat	37
2.5 rANOVA	38
3. Výsledky	39
3.1 Výškový profil přiblížení	39
3.2 Dotazník	42
4. Diskuze výsledků	45
5. Závěr	47
Seznam použité literatury	48



Seznam obrázků

Obrázek 1: Počet nehod podle primární příčiny v rocích 1996 – 2005 [3].	15
Obrázek 2: Počet nehod dle fázi letu v rocích 1996 – 2005 [3].	15
Obrázek 3: Anatomie oka.	20
Obrázek 4: Naklonění letadla pod vlivem iluzi falešného horizontu. Vytvořeno na základě [22].	23
Obrázek 5: Přiblížení v podmínkách iluzí černé díry.	24
Obrázek 6: Přiblížení na stoupající dráhu. Letadlo s černým obrysem tady a dál zobrazuje správný postup přiblížení, s červeným obrysem zobrazuje chybné přiblížení pod vlivem iluze. Vytvořeno na základě [21].	24
Obrázek 7: Přiblížení na svažující se dráhu. Vytvořeno na základě [21].	25
Obrázek 8: Přiblížení na dráhu přes stoupající terén. Vytvořeno na základě [21].	25
Obrázek 9: Přiblížení na dráhu přes svažující se terén. Vytvořeno na základě [21].	26
Obrázek 10: Ideální přiblížení na standardní dráhu. Vytvořeno na základě [21].	26
Obrázek 11: Přiblížení na širší dráhu. Vytvořeno na základě [21].	27
Obrázek 12: Přiblížení na užší dráhu. Vytvořeno na základě [21].	27
Obrázek 13: Vývojový diagram výběru studií pro analýzu.	30
Obrázek 14: Zobrazení dráhy z kabiny pilota.	34
Obrázek 15: Rozložení prvků Biofeedback VR simulátoru.	36
Obrázek 16: Celkový hodinový nálet subjektu na letounech.	37
Obrázek 17: Profil přiblížení na dráhu širokou 60 m.	39
Obrázek 18: Profil přiblížení na dráhu širokou 30 m.	40
Obrázek 19: Profil přiblížení na dráhu širokou 90 m.	40



Obrázek 20: Zobrazení distribuci střední kvadratické chyby.	41
Obrázek 21: Zobrazení distribuci průměrné absolutní odchylky.	41
Obrázek 22: Zobrazení distribuci směrodatné odchylky.	42
Obrázek 23: Vyhodnocení otázky č. 1.	42
Obrázek 24: Vyhodnocení otázky č. 2.	43
Obrázek 25: Vyhodnocení otázky č. 3.	43
Obrázek 26: Vyhodnocení otázky č. 4.	44
Obrázek 27: Vyhodnocení otázky č. 5.	44



Seznam symbolů a zkratk

°	Stupeň úhlu
<i>ft</i>	Stopa – měrová jednotka (Foot – dimensional unit)
<i>kt</i>	Uzly (Knots)
<i>m</i>	Metr – měrová jednotka (Meter – dimensional unit)
<i>NM</i>	Námořní míle (Nautical Mile)
ALS	Světelná přibližovací soustava (Approach Lighting System)
AMSL	Nad střední hladinou moře (Above Mean Sea Level)
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze (Czech Technical University in Prague)
MAE	Maximální absolutní chyba (Maximum Absolute Error)
PAPI	Světelná soustava indikace sestupové roviny pro přesně přiblížení (Precision Approach Path Indicator)
RMSE	Odmocnina ze střední kvadratické chyby (Root Mean Square Error)
SD	Směrodatná odchylka (Standard Deviation)
VFR	Pravidla pro let za vidu (Visual Flight Rules)
VMC	Podmínky pro let za vidu (Visual Meteorological Conditions)
VR	Virtuální realita (Virtual Reality)



Úvod

Už uplynulo více než sto let od prvního letu letadla a nyní je těžké si představit život moderní společnosti bez letecké dopravy. Bohužel během tohoto období došlo k mnohým haváriím, které v letectví často může končit tragicky. Letadlo představuje složitou, ale zároveň citlivou strukturu, kde každý drobný detail může vést k poruše celého letadla. To platí i pro lidi, kteří řídí letový proces, od pilota přes dispečera až po leteckého technika. Kvůli problémům lidského faktoru bylo způsobeno obrovské množství letových nehod a pro zvýšení bezpečnosti letu je nezbytné věnovat pozornost člověku jako jedné ze složek letové dopravy.

Mezi aspekty lidského faktoru, které v letectví představuje výzvu, patří prostorová dezorientace a vizuální iluze. Tyto fenomény mohou mít zásadní vliv na vnímání pilotů během různých fází letu. Je to zvláště důležité v takové kritické situaci jako je přistání, kde mohou tyto jevy ovlivnit rozhodování a řízení letounu, což v nejhorším případě může přivést ke katastrofě.

Tato práce se zaměřuje na specifickou vizuální iluzi poměru stran přistávací dráhy. Správné vnímání přistávací dráhy během přiblížení má zásadní vliv na správné posouzení výšky a úhlu sestupu během přiblížení. V případě vzniku analyzované iluze jsou rozměry dráhy chybně vnímány a spolu s tím i subjektivní hodnocení výšky letu nesprávně interpretovány. Za následek to může vést k nepřesným manévřům, což může ohrozit bezpečnost posádky a cestujících.

Vzniku letových iluzí nedá se úplně vyhnout ani u velmi zkušených a zdravých pilotů. Často vznik u pilota prostorové dezorientace dá řešit kontrolou přístrojů, avšak u pilota nezkušeného s iluzemi to zabere víc času, za které může letadlo překročit své provozní limity a způsobit nehodu. Proto pro zvýšení bezpečnosti letu je důležité zabezpečit výcvik týkající se iluzí a naučit, jak s nimi postupovat.

V současnosti se už využívají letové simulátory s virtuální realitou pro výškolení nových pilotů. Avšak výcviku různých letových iluzí se nevěnuje potřebná pozornost. Kromě toho, zatím neexistuje dostatek studií, které by se zabývali vizuální iluzí poměru stran dráhy ve virtuální realitě na letovém simulátoru. Proto této práci zabývá podrobnější analýzou vizuální dané iluze v kontextu leteckého provozu.

V této studii je přestaven teoretický základ v oblasti vizuálních iluzí, s primárním ohledem na tzv. iluzi poměru stran dráhy a pak provedeme experiment s hlavním cílem zjistit, jestliže se dají vytvořit podmínky pro iluzi poměru stran dráhy při přiblížení na simulátoru. Experimentální část práce je prováděna s využitím virtuální reality na



reprezentativním vzorku subjektů a data naměřená během experimentů byly analyzovány vhodnými statistickými metodami. Součástí práce je i vytvořený dotazník pro subjektivní hodnocení navození dané iluze.



1. Teoretické základy práce

V dané části práce je podrobně analyzována problematika vizuálních iluzí a potenciální prostorová dezorientace vytvářená těmito iluzemi v rámci rozboru lidského faktoru v letectví. Pak se seznámíme se základy anatomí a psychofyziologií vizuálního analyzátoru. Dál následuje informace o některých příkladech vizuálních iluzí s jejich stručným popisem. Specifickým případem, který je předmětem dané práce, je vizuální iluze poměru stran přistávací dráhy. Na konci teoretické části práce je představena analýza současného stavu vztahující se k iluzi poměru stran dráhy.

1.1 Lidský faktor v letectví

Význam lidského faktoru v letectví nelze podceňovat. Více než polovina leteckých nehod je způsobena selháním lidského faktoru [1]. Hledání příčin leteckých nehod vyvolalo potřebu neustále věnovat pozornost duševnímu a fyzickému zdraví letové posádky.

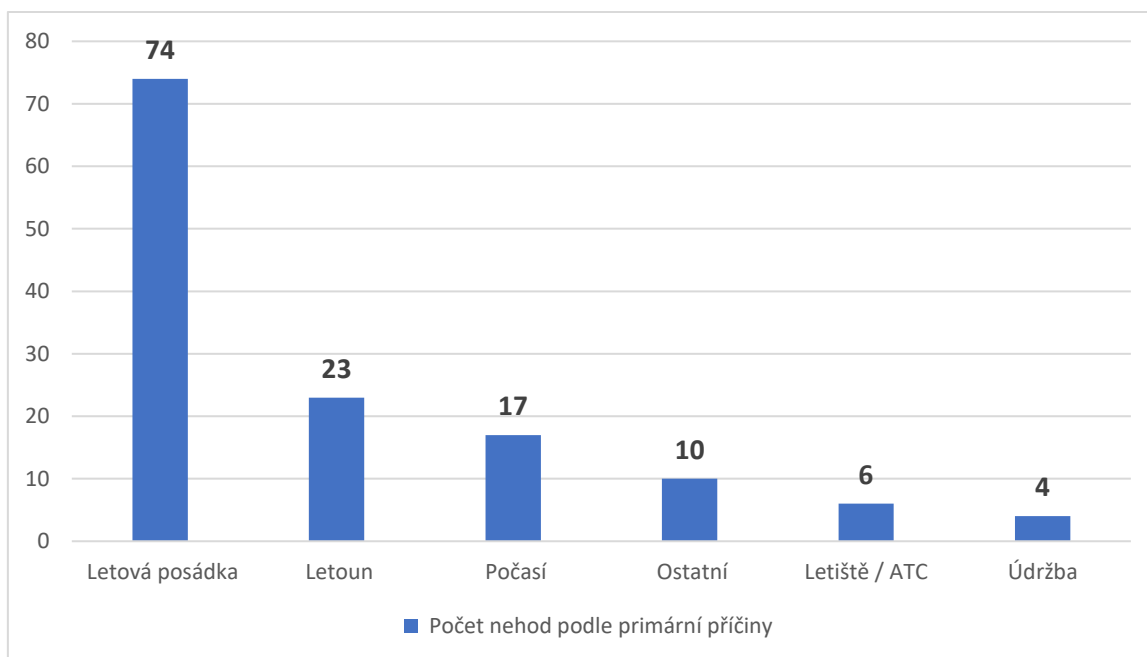
Úkol zvýšit bezpečnost letectví vedl k pochopení účelného studia pilota jako subjektu odborné činnosti v systému "člověk - letadlo - prostředí". Člověk je v tomto kontextu nejpružnějším, nejprizpůsobivějším a nejdůležitějším prvkem leteckého systému, ale také nejzranitelnějším z hlediska možnosti negativního ovlivnění jeho činnosti.

Pochopení a optimalizace lidské role v letectví souvisí se všemi aspekty činnosti pilota, jako například:

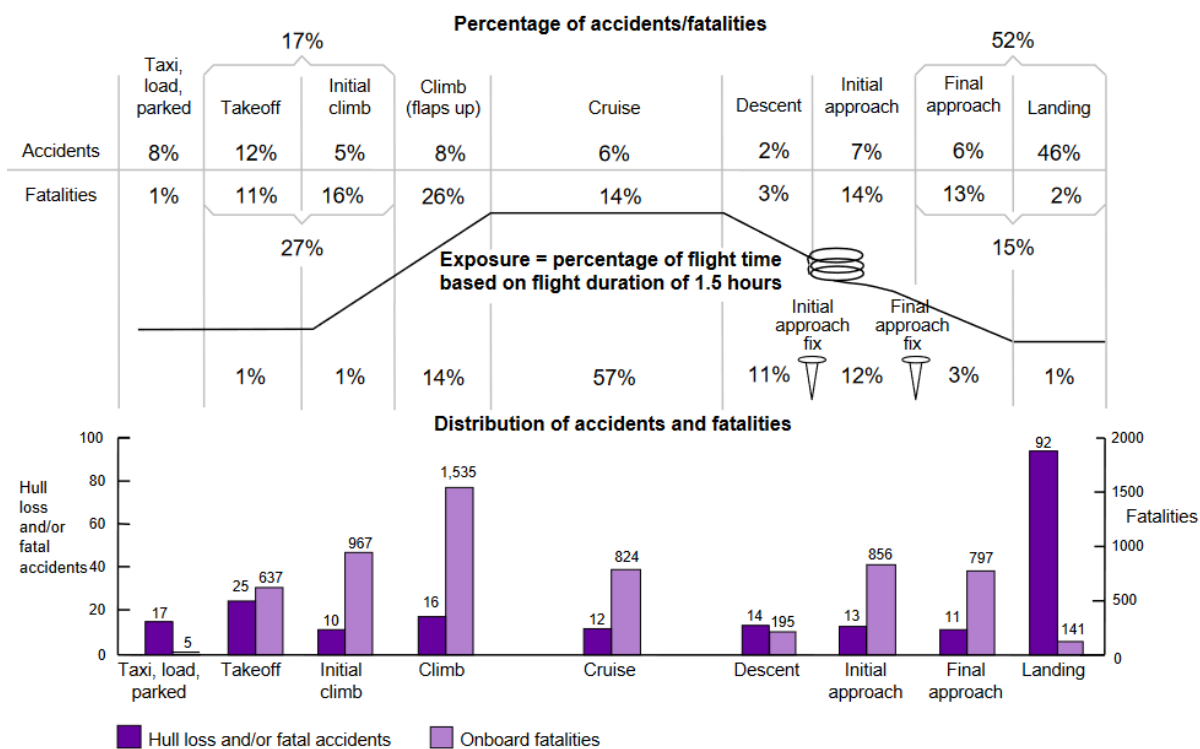
- rozhodovací a poznávací procesy,
- navrhování konfigurace displejů, ovládacích prvků, vybavení kokpitu i kabiny,
- komunikace a software,
- příprava plánů a diagramů a dokumentace, jako jsou příručky pro letadla, kontrolní seznamy atd.

Koncepce lidského faktoru se postupně vyvíjela, testovala a formalizovala od konce minulého století a v současné době se nashromáždily poznatky, které lze využít při zvyšování bezpečnosti komplexního systému civilního letectví.

Lidský faktor v letectví je třeba chápat jako soubor odborných, fyziologických a sociálních schopností a omezení pilota, jehož ignorování při návrhu vybavení letadla, organizaci a podmínkách letové činnosti může vést k chybnému jednání a v důsledku toho k leteckým nehodám a incidentům [2].



Obrázek 1: Počet nehod podle primární příčiny v rocích 1996 – 2005 [3].



Obrázek 2: Počet nehod dle fáze letu v rocích 1996 – 2005 [3].



Jak je patrné z obrázku 1, v období let 1996 až 2005 byl počet leteckých nehod způsobených letovou posádkou 74 [3], což je větší než polovina počtu všech nehod za toto období. Kvůli tomu se problém lidského faktoru v letectví nedá se podceňovat.

Na obrázku 2 je vidět, největší nebezpečí se představuje fáze přiblížení, během kterého nastává více než polovina všech nehod [3]. Právě rozhodování posádky v klíčový moment často tvoří rozdíl mezi bezpečným přistáním a tragédií. Správné rozhodnutí však může být ovlivněno působením mnoha faktorů na člověka.

Jednou z takových příčin selhání lidského faktoru je ztráta prostorové orientace, které se budeme věnovat dál.

1.2 Prostorová dezorientace a vizuální iluze

Jednou z nejdůležitějších dovedností pilota je prostorová orientace. V letectví je třeba chápat prostorovou orientaci jako neustálé povědomí o poloze a povaze pohybu letadla v prostoru vzhledem k povrchu země a k dalším mimopalubním orientačním bodům, jakož i o stavu a dynamice jednotlivých parametrů charakterizujících pohyb v trojrozměrném prostoru [4].

Schopnost člověka vnímat polohu a pohyb předmětů a sebe sama v prostoru je spojena s fungováním smyslového systému v kombinaci s prací a interakcí především zrakových, vestibulárních a somatosenzorických analyzátorů. Nejdůležitější roli v tom hraje zrak, který poskytuje asi 80 % informací, a informace vstupující do mozku z jiných analyzátorů obvykle potvrzují si správnost vizuálních signálů [5].

Naopak, prostorová dezorientace představuje stav částečné nebo úplné ztráty prostorové orientace, a tedy ztráta schopnosti určit svou polohu, směr pohybu nebo umístění předmětů kolem sebe [6]. Často je prostorová dezorientace důsledkem iluzí, které mohou vzniknout během letu [2].

Evoluce a vývoj lidských analyzátorů probíhalo a probíhá ve vztahu k pozemskému způsobu života. Proto se za těchto podmínek nesoulady mezi informací vstupující do mozku z vizuálních, vestibulárních a jiných analyzátorů vznikají poměrně zřídka (obvykle pouze v případě nemoci, úrazu atd.). Avšak prudké změny aerodynamických sil za letových podmínek způsobují prudké zkreslení signálů vestibulárního a v menší míře i zrakového aparátu. Kromě toho, ve vzduchu pilot často trpí nedostatek vizuálních referencí potřebných pro prostorovou orientaci. Takové podmínky vedou ke vzniku prostorových iluzí u pilota [5].

To zhoršuje zejména omezená možnost vizuálního monitorování vnějších podmínek nebo nedůvěra k indikacím letových přístrojů. K určení polohy v prostoru proto pilot



potřebuje vykonávat aktivní mentální práci zaměřenou na vnímání, zpracování a vyhodnocování toku různých signálů, často protichůdných. To pak znamená, že prostorová orientace za letu je především intelektuální proces představující v mysli odraz podmínek, ve kterých se lidská činnost odehrává [7].

Tento problém nesmí být podceňován, neboť i když vznik u pilota prostorové dezorientace často dá řešit kontrolou přístrojů, to nevyhnutelně vede k více či méně dlouhým obdobím nečinnosti (nebo nesprávné činnosti, často zhoršujícímu situaci) posádky [4]. Během této doby neefektivní činnosti může letadlo překročit provozní limity rychlosti, stability, ovladatelnosti a jiných parametrů, což nakonec vede k tomu, že bezpečný let se stává téměř nemožným [8]. Zamezení výskytu prostorové dezorientace je tedy důležitým krokem ke zvýšení bezpečnosti letu.

Jednou z příčin vzniku prostorové dezorientace je iluze – jedná se o psychický proces nedostatečně přesného odrazení vnější a vnitřní reality [9]. Síla iluze, která vznikla během letu, sahá od mírného stadia, charakterizovaného pochybnostmi vzniklými kvůli krátkodobému omylu, až po prodlouženou nebo dokonce úplnou ztrátu chápání skutečné polohy letadla v prostoru. Ve většině případů vznikají jen drobné iluze, které lze rychle odstranit pohledem na přístroje. Někdy však vznikají iluze, které trvají mnoho minut a na pilota působí velmi silným dojmem. V takové situaci je velmi důležité rychle rozpoznat iluzi a kriticky s ní zacházet, protože jedině tak lze posoudit skutečnou prostorovou polohu [5].

Problém právě zrakových iluzí je nyní zvláště aktuální vzhledem k tomu, že účinnost včasných a nezbytných lidských akcí k ovládní moderních technických systémů do značné míry závisí na rychlém a správném příjmu a vyhodnocení příchozích vizuálních informací [10].

Problém prostorové dezorientace je poměrně častý. Různí autoři [4] [11] [12] uvádějí, že prostorová dezorientace tvoří 21 až 33 % všech leteckých nehod, z nichž zrakové iluzi hrály roli téměř u 50 % [5] [13], přičemž toto číslo se moc nemění s časem [8]. Newman [14] poznamenává, že pilot zažije prostorovou dezorientaci během své kariéry s pravděpodobností vyšší než 90 %. Ve skutečnosti však může být počet výskytů prostorové dezorientace a iluzí ještě vyšší kvůli problémům s hlášením a klasifikací iluzí [14] [4] [11]. Piloti mohou nenahlásit případy vzniku PD a iluzí ze strachu ztráty licence a někdy nejsou schopni jich správně rozpoznat a klasifikovat [15]. Také v případě smrti pilota může být obtížné definitivně dojít k závěru, že nehoda byla způsobena prostorovou dezorientací nebo nějakou konkrétní iluzí.

Příčina vzniku vizuálních iluzorních vjemů u pilota často spočívá v neobvyklých účincích vzdušného prostředí na člověka, kde je častým jevem absence vizuálních



referenci anebo jejich špatná interpretace [5]. Jejich výskyt není důkazem nepřipravenosti nebo špatného zdravotního stavu pilota. I velmi zkušený a zdravý pilot může za určitých okolností zažít iluzorní vjemy. S pochopením příčin iluzorních vjemů a klidným postojem k jejich výskytu, je pilot, který má zkušenosti s potlačováním těchto iluzí a vyškolený k přístrojové pilotáži, schopen správně činit na základě údajů z přístrojů [16].

Přiblížení a přistání na dráhu je jednou z nebezpečnějších fází letu a vznik iluzi může to značně ohrozit. Vizuelní přiblížení bez pomoci navigačních přístrojů přináší do toho i své rizika, i když je prvním typem přiblížení kterému se naučí v letových školách. Další sekce této práce je věnována dané problematice.

1.3 Vizuelní přiblížení

V současnosti existuje mnoho systémů a pravidel pro zajištění bezpečného přiblížení na dráhu. Kromě systémů pro přesné přiblížení, přiblížení s vertikálním vedením a nepřesné přiblížení, existují také systémy přibližovacích svítidel a vizuelní indikátory sestupu. Pilotům při provádění vizuelního přiblížení pomáhá využití elektronických systémů Visual Approach Slope Indicator (VASI) nebo Precision Approach Path Indicator (PAPI), které pomáhají řídit klesání a úhel sestupu během přiblížení na dráhu. Běžně je používán 3° úhel od vodorovné roviny pro přímé přiblížení [2].

Tyto systémy poskytují pilotům informace o správnosti dodržování sestupové dráhy pro zajištění dostatečně bezpečné výšky nad překážkami a aby piloti se přistáli ve specifikované na to části dráhy. Avšak když tyto systémy nejsou k dispozici, pilot může řídit vizuelní přiblížení pohledem ven z kabiny jen na základě vizuelních referencí z okolí.

To představují přiblížení na základě „mentálního obrazu“ pilota, který byl vycvičen minulými přiblíženími a je zakořeněn v mozku pilota [4]. Přičemž obraz přistávací dráhy bývá nejčastěji hlavní složkou mentálního obrazu [17]. Využití daného mentálního obrazu pomáhá snížit množství kognitivní práce pro pilota, ale to může i vést k různým percepčním chybám.

Než uvedeme příklady podobných chyb je potřeba popsat strukturu vizuelního analyzátoru a základ vidění, což probereme v následující části práce.

1.4 Základ vidění

Pro zajištění adekvátní reakce člověka je nezbytné analyzovat pouze spolehlivé a přesné informace, ať už jsou to signály z vnějšího prostředí nebo signály z těla. Tyto signály jsou zachyceny smyslovými orgány, jako jsou oči, uši, kůže atd., a poté přeneseny do mozku, kde jsou interpretovány a analyzovány. Mozek v každém okamžiku zpracovává obrovské



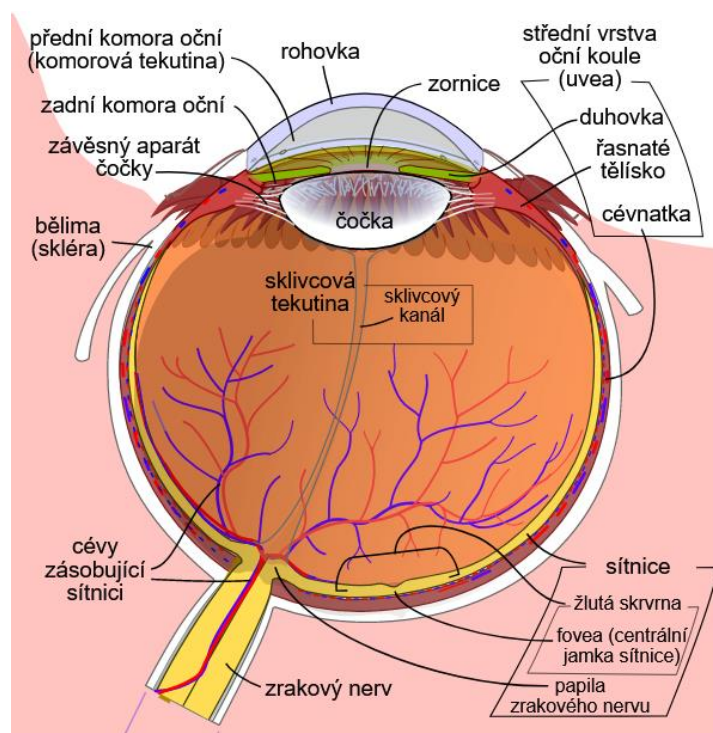
množství informací o zdravotním stavu, držení těla, poloze ruce a nohou, rotaci a záklonu hlavy, zorném poli atd. Lidské chování a činnosti vycházejí z neustálého sběru a analýzy informací o vnějším prostředí i stavu těla.

Celý tento proces probíhá za pomoci analyzátorů, které jsou součástí centrálního nervového systému. Pro jasnější představu o iluzích a nezbytných opatřeních k jejich prevenci potřebujeme určité znalosti o běžném provozu analyzátorů sensorických systémů. Níže jsou uvedeny základní údaje o anatomii a psychofyziologii vizuálního analyzátoru, které je klíčovou pro této práci.

Zrak poskytuje nejen většinu potřebných informací pro sestavení informačního modelu letu, ale také kontroluje a koriguje vestibulární a kinestetické signály v případě příjmu falešných signálů od nich [18]. Zrak má také klíčový význam v zajištění prostorové orientaci, která se vytváří hlavně na základě vizuálních informací a mentálních procesů analýzy a syntézy signálů viditelných orientačních bodů [10].

Oči jsou orgány zrakového vnímání, reagující na světelné signály. Na obrázku 3 je zobrazena anatomie oka. Oko se skládá ze tří membrán: skléra, cévnatka a sítnice a také vnitřního obsahu. Přední část skléry – rohovka – je průhledná membrána, která pokrývá přední část oka, přes kterou do oka vstupují světelné paprsky. Díky konvexnímu tvaru nejen propouští světlo, ale je také místem, kde dochází k primárnímu zaostřování světelných paprsků. Druhá vrstva je cévnatka, která se skládá z mnoha malých cév, kterými krev zásobuje oko kyslíkem a živinami. Čočka tady má bikonvexní tvar a dokončuje proces ostření. Stejně jako rohovka propouští a láme světelné paprsky a zaostřuje obraz na sítnici.

Třetí vrstva oka, sítnice - je receptorová část vizuálního analyzátoru, zde probíhá přímé vnímání světla, biochemické přeměny zrakových pigmentů a změna elektrických vlastností neuronů. Vnější vrstva sítnice se skládá z milionů světločivných buněk – tyčinek a čípků, které vnímají světlo a barvy. Ne každá část sítnice však vidí stejně: největší zrakovou schopnost má žlutá skvrna – centrální část sítnice, uvnitř které se nachází hlavní počet hustě uložených zrakových buněk, čípků, poskytujících největší zrakovou ostrost a tvoří anatomický základ centrálního vidění. Zbytek oka má mnohem menší počet čípků a poskytuje periferní vidění [10], které je nezbytné ke stabilnímu vnímání zemských souřadnic a naší pozice v nich. Pokud však periferní vizuální signály nejsou dostupné, může to vést k prostorové dezorientaci z důvodu nedostatku potřebných vstupních signálů [5].



Obrázek 3: Anatomie oka.

Informace z receptorů jsou pak přenášeny zrakovým nervem do centrálního nervového systému, kde jsou ve zrakové kůře zpracovávány a interpretovány. Je důležité zdůraznit, že proces vnímání okolního světa pomocí zraku je jak „bottom-up“ (zdola nahoru), tak i „top-down“ (shora dolů) [4]. Bottom-up vnímání je aktivováno sensorickými neurony v oku a přenáší signály do mozku, kde jsou vnímány podněty. Top-down vnímání se vyznačuje změnami vnímání, které jsou ovlivněny již existujícími vzpomínkami, očekáváními a dalšími faktory v mozku a které modulují informace přicházející z oka. Takto top-down vnímání interaguje s bottom-up tokem informací, směřuje pozornost a provádí proces filtrování vystupujícího toku informací, čímž urychluje její zpracování. Obvykle se tyto dva procesy vzájemně ovlivňují a doplňují, ale v případě nedostatku přicházející informace se top-down tok stává stále dominujícím ve vnímání a nahrazuje chybějící informace mentálními obrazy, které jsou již známé [19].

Podobné interakce mezi top-down a bottom-up tokem informací lze pozorovat i v letectví, kde nedostatek vizuálních orientačních bodů je častým jevem. Konkrétně lze porovnávat vnímání dráhy přistání z pohledu zkušenosti pilota, zejména za omezených podmínek vizuální orientace. Zkušenější piloti mají větší množství mentálních modelů velikosti dráhy přistání, prostředí a situací uložených v dlouhodobé paměti. Piloti využívají tyto mentální modely k snížení kognitivní zátěže a k uvolnění více prostředků na vnímání signálů okolního prostředí. Avšak nesprávné použití těchto modelů z paměti



vede k nesprávnému vnímání okolního světa a jako následek k dezorientaci, což může negativně ovlivnit bezpečnost přistání [4].

Dalším důležitým bodem vnímání okolního světa očima souvisí s tím, že svět je trojrozměrný, zatímco obraz na sítnici oka je dvourozměrný, a trojrozměrné pojmy vzdálenosti a hloubky, tvarů a rozměrů je třeba správně interpretovat, aby lidé mohli nejen bezpečně, ale i efektivně pohybovat se v okolním prostředí. Klíčovým aspektem je přesné vnímání hloubky, což je nezbytné nejen pro orientaci v prostoru, ale také pro interpretaci tvaru objektů [5]. Části trojrozměrného objektu, které jsou blíže k oku, vytvářejí na sítnici větší obraz než ty, které jsou vzdálenější, což přispívá k vnímání hloubky.

Pro vnímání hloubky a interpretaci okolního prostředí vizuální systém využívá dva typy vidění:

- Binokulární vidění - které je zajištěno přítomností dvou očí, z nichž se informace nejprve samostatně a paralelně zpracovávají a poté se v mozku syntetizují do vizuálního obrazu, čímž vzniká pocit hloubky a objemu.
- Monokulární vidění - vidění, při kterém se obě oči používají odděleně a což omezuje vnímání hloubky.

Monokulární signály jsou za letu často cennější pro piloty při získávání informací o vzdálenosti, neboť dokážou poskytovat informace na mnohem větší vzdálenosti, než jsou schopny binokulární signály [10]. Nicméně, i když monokulární signály dominují v letectví, často právě tyto monokulární signály jsou nejvíce náchylné k nesprávné interpretaci [20].

Níže jsou uvedeny některé z hlavních monokulárních signálů spojených s letectvím a s iluzí poměru stran přistávací dráhy [7]:

- Relativní velikost - posouzení vzdálenosti objektu na základě jeho velikosti ve srovnání s ostatními objekty.
- Lineární perspektiva - hloubkové vodítko založené na sblížování rovnoběžných čar, jak ustupují do dálky.
- Gradient textury - postupná změna vzhledu textury s vzdáleností, kde jemnější a detailnější textury indikují blízkost.
- Pohybová paralaxa - jev relativní rychlosti pohybu obrazů přes sítnici, kdy obrazy blízkých objektů se na sítnici pohybují rychleji než obrazy vzdálených objektů [21].
- Zjevné zkrácení - efekt, kdy objekty nebo plochy pozorované pod úhlem vypadají zkráceně kvůli perspektivě.



Při letu se tyto a jiné monokulární a binokulární signály zpracovávají společně se signály z vestibulárního, sluchového, somatosenzorického a dalších analyzátorů zpracovávají, aby vytvořily komplexní obraz vnímaného objektu. Všechny tyto procesy probíhají současně [14] a často v tom hrají důležitou roli procesy shora dolů, vznikající na základě dostupných informací a předchozích znalostí objektů.

Tak, během přiblížení při vnímání rozměru dráhy a vzdálenosti od ní jsou lineární perspektiva, zkrácení a hustota textury hlavními monokulárními signály, přičemž lineární perspektiva je považována za nejdůležitější [5]. Rychlost změny těchto a dalších vizuálních signálů může být použita k přesnému navádění letadla při přistání.

Pokud v celém tomto řetězci komplexních interakcí prvků vizuálního analyzátoru dojde k poruše nebo pokud jsou přijaté informace mozkiem nesprávně interpretovány, může to způsobit zrakovou iluzi, a pokud není včas rozpoznána, může následně vést k prostorové dezorientaci a vzniku nebezpečné letové situace. Seznam všech druhů iluzí je poměrně rozsáhlý, ale v tomto článku jsou zvažovány pouze některé z nich, s hlavním zaměřením na iluzi poměru stran dráhy, o které bude řečeno níže.

1.5 Druhy vizuálních iluzí

V následujících podkapitolách jsou podrobně popsány některé z nejčastěji vyskytujících se vizuálních iluzí během letu a přiblížení, s hlavním zaměřením na tzv. iluzi poměru stran dráhy.

1.5.1 Autokineze

Autokinetická iluze může vzniknout u pilota při letu ve špatných vizuálních podmínkách, například ve tmě, jestliže pilot zafixuje svůj vzor na jeden pevný bod světla na nevýrazném pozadí. Po 6 až 12 sekundách vizuální fixace se pilotu bude jevit, že zdroj světla se pohybuje. Zpravidla čím menší a méně jasný je zdroj světla, jako například hvězda nebo svítidlo, tím silnější bude vliv autokineze [10].

Nebezpečnost dané iluze se zvyšuje, jestliže iluze způsobí vznik mylné představy, že takové světlo je jiné letadlo, mířící na kolizi s vaším letadlem [21]. V nejlepším případě to vyvolá zvýšenou práci pilota a zbytečný pohyb, v nejhorším případě to může způsobit provozní nebezpečí. Vyhnout účinkům této vizuální iluze lze přesunutím pohledu či hlavy tak, aby se pilot nedíval na jediný zdroj světla, nebo pozorováním stacionárních objektů v okolí zdroje světla.

1.5.2 Falešný horizont

Člověk obecně má přirozenou vlastnost vnímat horizont kolem sebe jako horizontální přírodní reference, avšak to může vést k nebezpečným situacím, pokud je horizont nakloněný nebo je v podmínkách špatné viditelnosti zaměněn s falešným horizontem [22]. Může se to stát při letu nad mrakem se sklonem, kde z důvodu absenci vizuální referenci pilot je skloněn zarovnávat křídla letadla s falešným horizontem, vytvářeným mrakem [23]. Ilustraci této iluzi je na obrázku 4.



Obrázek 4: Naklonění letadla pod vlivem iluzi falešného horizontu. Vytvořeno na základě [22].

Tato iluze může vzniknout i v podmínkách nočního létání, kdy nejsou vidět žádné hvězdy kvůli zatažené obloze a zavádějící vzory izolovaných pozemních světél se mohou pilotovi jevit jako hvězdy [2]. Pokud pilot tomu uvěří, může to vyvolat pocit, že letadlo je silně nakloněné. V takovém případě, hlavně při letu v malé výšce anebo při nízké rychlosti, naklonění letadla vůči falešnému horizontu může mít katastrofální následky.

1.5.3 Iluze černé díry

Dané iluze představuje specifickou formu iluzí nevýrazného terénu, která v podmínkách absence pozemních prvků vyvolá u pilota pocit, že je ve vyšší výšce, než ve skutečnosti je. Iluze černé díry může vzniknout u pilotů při přiblížení v noci při absenci viditelných pozemních prvků, například při přiblížení nad vodou nebo nad neosvětleným terénem. Nedostatek vizuálních vodítek v okolí přistávací dráhy ztěžuje orientaci a měření vzdálenosti, což může způsobit nežádoucí snížení nadmořské výšky a v extrémních případech ohrozit schopnost dosáhnout přistávací dráhy [14].

Tato vizuální iluze se vyskytuje u pilotů různých úrovní dovedností a zkušeností, což zdůrazňuje význam důkladného školení a osvojení správných postupů pro řízení letadla za podobných podmínek [16]. Znázornění dané iluze je na obrázku 5.

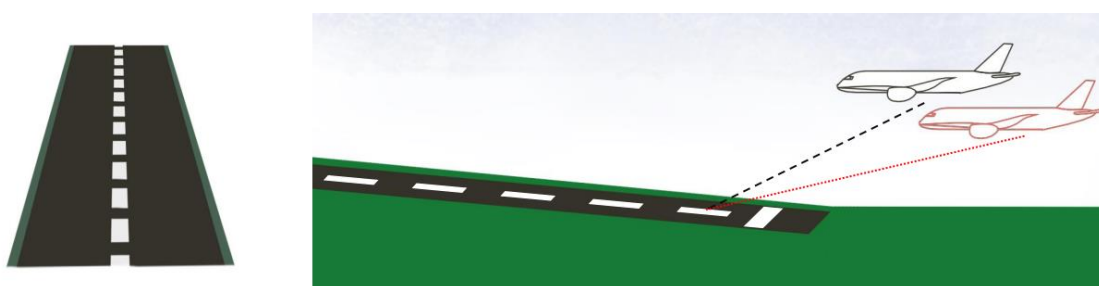


Obrázek 5: Přiblížení v podmínkách iluzí černé díry.

1.5.4 Iluze sklonu dráhy a sklonu terénu před drahou

Provádění vizuálního přiblížení pro pilota v případě, kdy nejsou dostupný přiblížovací systémy, představují přivedení obrazu dráhy před ním tak, aby odpovídal očekávanému tvaru v souladu se zákony perspektivy. Ale v některých případech, když pilot nepočítá se s okolím, může to vést ke vzniku nebezpečných iluzí. V závislosti na sklonu dráhy se obraz dráhy na sítnici pilota může lišit velikostí a tvarem [4].

Stoupající dráha se na sítnici pilota bude jevit jako dlouhá a úzká, nebo může způsobit vznik iluzi, že letí výše, než ve skutečnosti je. Jestliže to bude mít velký dojem na pilota, to on může začít klesání ve snaze přizpůsobit obraz dráhy do očekávaného tvarů, a to konečně může přivést k nehodě, pokud bude letadlo blízko země [10]. Ilustrací této iluze můžete vidět na obrázku 6.



Obrázek 6: Přiblížení na stoupající dráhu. Letadlo s černým obrysem tady a dál zobrazuje správný postup přiblížení, s červeným obrysem zobrazuje chybné přiblížení pod vlivem iluze. Vytvořeno na základě [21].



Obrázek 7: Přiblížení na svažující se dráhu. Vytvořeno na základě [21].

Naopak přiblížení přes plochý terén k nezvykle se svažující dráze může vyvolat vizuální iluzi, že dráha je příliš krátká, anebo vyvolat pocit letu v malé výšce. V takovém případě pilot, jestliže bude dané iluzi věřit, může začít zbytečné stoupaní letadla, což může následně vést ke pádu v nízké výšce nebo ke nezdařenému přiblížení. Zobrazení dané iluze je na obrázku 7.

Přiblížení v oblasti se stoupajícím se terénem může vyvolat vznik vizuální iluzi, že letadlo je ve vyšší výšce než ve skutečnosti, nebo že přistávací dráha je kratší. Pilot pod vlivem této iluzi může reagovat snížením výšky letadla, což povede ke ploššímu přiblížení [14]. Za následek to může vést k ploššímu a potenciálně nebezpečnému přiblížení, v extrémních případech dokonce ke kolizi s terénem před přistávací dráhou. Ilustrace dané iluze je na obrázku 8.



Obrázek 8: Přiblížení na dráhu přes stoupající terén. Vytvořeno na základě [21].

Nakonec, při přiblížení k dráze přes svažující se terén může vzniknout pocit, že letadlo je příliš nízko, podobně jako při přistávání na stoupající dráze. V daném případě, pokud pilot tomuto pocitu podlehe, může začít stoupaní do větších výšek. To může přivést k přistání dále na dráze, než bylo zamýšleno. Grafické zobrazení této iluzi je na obrázku 9.



Obrázek 9: Přiblížení na dráhu přes svažující se terén. Vytvořeno na základě [21].

1.5.5 Iluze poměru stran dráhy

Dané iluze může nastat při přistání na dráhu, která je širší nebo užší než dráha, na kterou je pilot zvyklý přistávat. Při přistání pilot porovnává obraz dráhy před sebou s obrazem dráhy, na kterou je zvyklý přistávat. Rozdíl v šířce dráhy může vést k iluzi, že širší dráha se bude zdát kratší. Vnímání šířky dráhy může rovněž ovlivňovat vnímání výšky letadla, tzn. nad širokou dráhou se letadlo jeví níže, než ve skutečnosti je. Pod vlivem iluze může pilot ve snaze zvýšit výšku provést hrubé delší přistání, než bylo plánováno, než bylo původně plánováno, což může vést k nebezpečné situaci na přistávací dráze [14]. Zobrazení této iluzi je nakresleno na obrázku 11.

Na druhé straně, při přiblížení na užší přistávací dráhu, než na kterou je pilot zvyklý, může pilot mít pocit, že letí výš, než ve skutečnosti je. Pod vlivem iluzi může pilot pokusit o předčasný sestup, aby se letadlo vyhnulo přeletu dráhy. V takových případech jsou možné podklesání ideální sestupové roviny [14]. Tento typ iluze je nebezpečný, protože může způsobit, že pilot podcení vzdálenost k dráze, což může vést k předčasnému a potenciálně nebezpečnému přistání. Příklad tohoto jevu je znázorněn na obrázku 12.



Obrázek 10: Ideální přiblížení na standardní dráhu. Vytvořeno na základě [21].



Obrázek 11: Přiblížení na širší dráhu. Vytvořeno na základě [21].



Obrázek 12: Přiblížení na užší dráhu. Vytvořeno na základě [21].

Piloti v procesu letových aktivit si vytváří mentální obraz dráhy, na kterou přistávají, podle perspektivního pohledu na dráhu a její rozměry. Tento obraz navíc odráží i velikost dráhy. Tyto rozměry přistávací dráhy se také používají k určení výšky letu. Čím nižší je letová výška, tím širší dráha se pilotovi zdá. A samozřejmě naopak čím vyšší výška, tím užší dráha. Daný princip pilot využívá během vizuálního přiblížení pro zajištění potřebné výšky v jednotlivých bodech a v případě nesouvislosti upravit obraz dráhy do očekávaného tvaru, získaného z minulých zkušeností. Pokud tento ustálený obraz dráhy je aplikován v situaci, kdy se šířka dráhy odlišuje od té, na kterou je pilot zvyklý, může to vést k vzniku zkoumané iluze [5].

Jak už bylo řečeno výše, obraz přistávací dráhy často stává hlavním objektem mentálního obrazu pilota během přiblížení [17]. Přičemž některé piloti nemohou správně vnímat jiné vizuální podněty anebo obraz dráhy v mysli pilota je tak silný, že ostatní vizuální podněty mohou být ignorovány [4], což přináší své problémy při odhadu vzdálenosti od dráhy a jejich šířky a délky. Obraz dráhy na sítnici se mění jak v závislosti na vzdálenosti od ní, tak i z důvodu toho, že rozměry dráhy nejsou stejné na různých letištích. V takových podmínkách samotná přistávací dráha nepředstavuje dostatečné množství informací pro odhad vzdálenosti a rozměrů dráhy během vizuálního přiblížení.

Lze vyčlenit psychologické předpoklady pro vznik iluze související s nepružností koncepčních modelů pilota, nedostatečnými zkušenostmi a nedostatečným předletovým



výcvikem pilota [5]. Ke vzniku této iluze však kromě psychologického aspektu přispívají i další věci, které jsou popsány níže.

Sklon dráhy může dále interagovat s očekáváním velikosti/tvaru dráhy na základě zkušeností a zvyšovat pravděpodobnost nesprávného vnímání. Dokonce i sklon terénu vedoucí k ploché dráze může ovlivnit úhel nájezdu [10].

Další objekty v zorném poli, jako jsou budovy a rostliny, mohou pilotovi pomoci přesněji odhadnout vzdálenost a výšku letu [4], ale však se v jednotlivých regionech liší velikostí, takže je lze také správně interpretovat pouze v případě, že pilot zná letiště. Také absence okolních orientačních bodů jako hloubkových vodítek nebo stejnoměrnost povrchu dráhy (jako je voda nebo poušť) může ztěžovat prostorovou orientaci [10].

Přistání v noci také zvyšuje pravděpodobnost nesprávného vnímání velikosti dráhy a vzdálenosti kvůli menšímu počtu viditelných referencí velikosti a hloubky. Nicméně tato iluze může nastat i během dne, i při dostatečném množství vizuálních podnětů. Problémy s vnímáním se mohou dále zhoršit v případě špatného počasí, únavy pilota nebo nouzové situace, které odeberou pilotovi pozornost [4].

V reálných podmínkách se lze setkat i s kombinací výše uvedených vlivů, což může zhoršit jak výslednou prostorovou orientaci, tak následné pokusy o analýzu situace a klasifikaci příčin jejího vzniku [5].

1.6 Analýza současného stavu

V následující sekci práce je podrobně vypracovaná analýza současného stavu vztahující se k iluzi poměru stran dráhy. Pro analýzu byly vybrány články z citačních databází SCOPUS a WOS na základě klíčových slov *Runway Size Illusion*, *Runway Constancy Illusion*, *Runway Shape Illusion* a *Size Constancy Illusion*. Některé články byly vyřazeny z finální analýzy na základě jejich dostupnosti, kvality, nebyly v angličtině anebo z důvodu nevhodné metody práce. Vývojový diagram selekci vhodných studií lze vidět na obrázku 13. Výsledky provedené analýzy shrnuty v tabulce 1.

První studie [24] ze seznamu se zabývala schopností posuzovat úhly sestupu vzhledem k tvaru dráhy. Měření bylo prováděno na 16 zkušených pilotech, kteří měli za úkol ohodnotit úhel sestupu simulovaného letadla na základě statického obrázku tvaru dráhy. Na to měli využít odpovědi buď „High“, „Low“ nebo „Ok“. Odpovědi byly nejvíc správně okolo 3° úhlu přiblížení. Při úhlech přiblížení menších než 3° piloti prokazovali sklon k nadhodnocení úhlu sestupů, a naopak k podhodnocení u úhlů větších než 3.5°. Tato studie nepodporuje myšlenku vhodnosti posuzování poměru stran drah pro odhadování úhlu přiblížení.



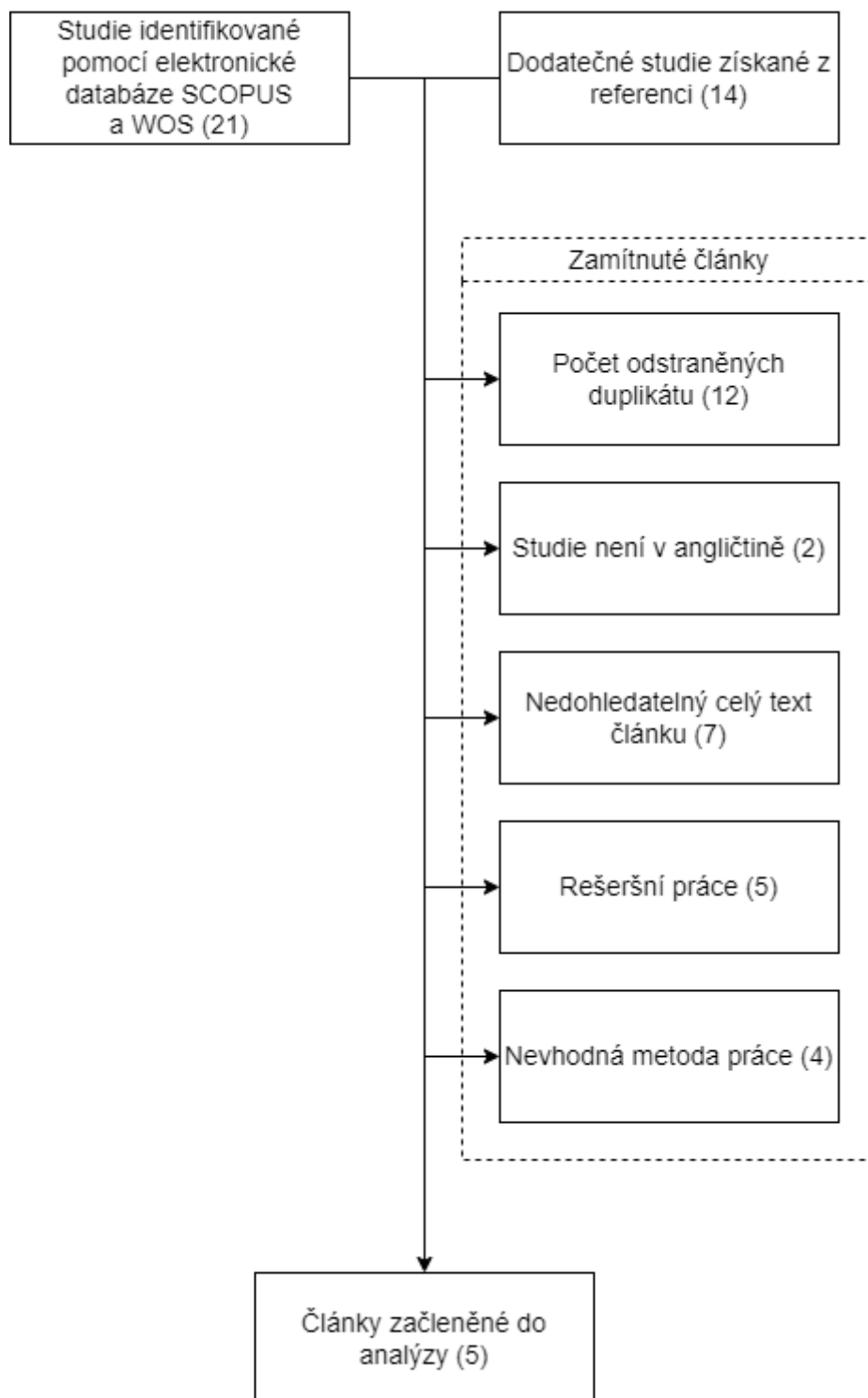
Práce [25] se zabývá analýzou, jak velikost přistávací dráhy a vzdálenosti od ní ovlivňuje schopnost pilota udržet ideální úhel sestupu při přiblížení k přistávací dráze v podmínkách nočního přiblížení. V prvním experimentu tři piloti provedli dvacet seznamovacích přiblížení na dráhu širokou 75 ft, 150 ft a 300 ft, vždy s konstantní délkou. Pak následovalo měření správnosti dvaceti přiblíženích na dráhy se šířkou 75 ft, 100 ft, 150 ft, 200 ft a 300 ft a zase s konstantní délkou. Vše proběhlo v podmínkách nočního VFR přiblížení. Ve druhém experimentu se měnila navíc i délka dráhy v rozmezí 3000 ft až 9000 ft.

Pomocí testu ANOVA se u obou experimentů zjistil signifikantní vliv jak velikosti dráhy, tak vzdálenost od prahu na úhel sestupu s hodnotou $p < 0.05$. To se projevilo tím, že účastníci prováděli nižší přiblížení na úzkou dráhu po široké testové dráze a vyšší přiblížení na širší dráhu po úzké testové dráze.

Tato studie [26] zkoumala vliv obsahu scény a šířky dráhy na výkonnost pilota. Studie se zúčastnilo 8 zkušených pilotů ve věku od 18 do 30 let. Účastníci experimentu v rámci jednotlivých měření prováděli přiblížení na dráhu, přičemž každé měření se lišilo obsahem scény a šířkou přistávací dráhy. Celkem bylo zkoumáno tři šířky dráh při konstantní délce: 18.3 m, 30.5 m a 42.7 m. Výsledná data byly analyzována pomocí testu ANOVA. Šířka dráhy měla signifikantní vliv na přiblížení s hodnotou $p = 0.003$. To se projevilo ve formě nižších přiblížení v podmínkách omezeného obsahu scény. Obsah scény také měl signifikantní vliv na přiblížení s hodnotou $p < 0.001$ a to se projevilo nižšími přiblíženími na úzkých přistávacích dráhách. Významná interakce mezi těmito dvěma faktory nebyla zaznamenána ($p = 0.190$). Vzdálenost od zaměřovacího bodu měla signifikantní vliv s hodnotou $p < 0.001$.

Další práce [27] kromě jiných úkolů hodnotila i vliv iluzi poměru stran dráhy na selektivní pozornost a pracovní paměť. V obou případech během experimentů se prováděly přiblížení na dráhu širokou 300 ft a poté na dráhu o poloviční šířce 150 ft. Experimentu se zúčastnilo celkem 16 subjektů. Vliv prostorové dezorientace na selektivní pozornost se zkoumal v rozlišení dvou tónů audiosignálu. Následná analýza ukázala signifikantní vliv u parametru správných reakcí na tóny s hodnotou $p = 0.05$ a u reakčního času s hodnotou $p = 0.02$, ale nárůst hodnoty indikátoru CRE ($p = 0.09$) a střední velikost indikátoru CRE ($p = 0.18$) neukázali signifikantní vliv.

Při analýze vlivu iluzi poměru stran dráhy na pracovní paměť zjistilo se, že subjekty udělali celkem méně chyb při letu s iluzemi než při letu bez nich. Zvýšení hodnoty indikátoru CRE ($p = 0.22$), průměrná hodnota indikátoru CRE ($p = 0.31$), vyskytování správných odpovědí ($p = 0.40$) a reakční čas ($p = 0.39$) neprokázaly signifikantní vliv na výsledky měření.



Obrázek 13: Vývojový diagram výběru studií pro analýzu.



Tabulka 1: Analýza schválených článků týkajících se iluzi poměru stran dráhy.

Rok	Název	Autorství	Metoda a cíl experimentu	Závěr
1979	Runway image shape as cue for judgement of approach angle.	MERTENS, Henry W. [24]	Byly analyzovány schopnosti pilotů posuzovat tvarové poměry obrazu přistávací dráhy a simulované úhly sestupu.	Při hodnocení obrazu dráhy piloti prokazovali sklon k nadhodnocení poměrů stran dráhy u úhlů přiblížení menších než 3° a naopak k podhodnocení u úhlů větších než 3.5°.
1981	Effect of different runway sizes on pilot performance during simulated night landing approaches.	MERTENS, Henry W. a Mark F. LEWIS. [25]	Práce se zabývá analýzou, jak změna velikosti přistávací dráhy a vzdálenost od ní ovlivňuje schopnost pilota udržet ideální úhel sestupu při přiblížení k přistávací dráze.	Velikost přistávací dráhy a vzdálenost od prahu dráhy významně ovlivňovaly proces přiblížení. Účastníci prováděli nižší přiblížení na úzkou dráhou po široké testové dráze a vyšší přiblížení na širší dráhy po úzké testové dráze. Menší vzdálenosti od prahu dráhy zvyšovali vliv na přiblížení.
1991	Scene Content and Runway Breadth Effects on Simulated Landing Approaches	G. Lintern a kol. [26]	Účastníci experimentu v rámci jednotlivých měření absolvovali přistání na dráhu, přičemž každé měření se lišilo obsahem scény a šířkou přistávací dráhy. Následně byl hodnocen jejich vliv na přiblížení.	Šířka dráhy a obsah scény měly signifikantní vliv ve formě nižších přiblížení v podmínkách omezeného obsahu scény a na úzkých přistávacích drahách. Významná interakce mezi obsahem scény a šířkou dráhy nebyla zaznamenána.
2018	Selective Attention and Working Memory Under Spatial Disorientation in a Flight Simulator	P. Stróžak a kol. [27]	Jedním z cíle práci bylo hodnotit vliv iluzi poměru stran dráhy na selektivní pozornost a pracovní paměť. V rámci experimentů se prováděly přiblížení na dráhu o šířce 300 ft a pak na dráhu o šířce 150 ft, během čeho se zkoumala pozornost ve formě rozlišení dvou tónů audiosignálu a paměť pomocí N-back testu.	Při zkoumání selektivní pozornosti se objevila větší chybovost během letu v podmínkách prostorové dezorientaci, ale během zkoumání pracovní paměti naopak menší. Kromě toho, ze dvou provedených experimentů nebyl nalezen žádný vliv iluzi poměru stran dráhy na kognitivní výkon.



2018	Selective Auditory Attention and Spatial Disorientation Cues Effect on Flight Performance.	R. LEWKOWICZ a kol. [28]	Dané práce zkoumala vliv selektivní auditivní pozornosti v kombinaci s prostorovou dezorientací na výkon pilota. Pilot během vizuálního přiblížení na dráhu o šířce 300 ft za letu bez iluze a na dráhu o šířce 150 ft za letu s iluzí měl za úkol rozlišit krátký a dlouhý tón audiosignálů.	Výsledkem experimentů byla zjištěna vysoká kognitivní pracovní zátěž pilotů selektivním auditivním úkolem v podmínkách vlivu iluze poměru stran dráhy, což nepříznivě ovlivnilo jejich letový výkon.
------	--	--------------------------	---	--



Poslední studie [28] se zúčastnilo celkem 40 subjektů. Tato práce zkoumala vliv selektivní auditivní pozornosti a prostorové dezorientací na výkon pilota. Pilot měl za úkol provést vizuální přiblížení na dráhu širokou 300 ft bez iluze a na zúženou dráhu o šířce 150 ft s iluzí. Během toho pilot měl správně a co nejrychleji rozlišovat krátké a dlouhé tóny audiosignálů. Výsledkem experimentů byla zjištěna vysoká kognitivní pracovní zátěž pilotů selektivním auditivním úkolem v podmínkách ovlivněných iluzí poměru stran dráhy, což nepříznivě ovlivnilo jejich letový výkon. V rámci letových profilů nebyl zjištěn signifikantní vliv $p = 0.39$ a v rámci skupin subjektů byl zjištěn signifikantní vliv s hodnotou $p < 0.001$.

2. Metoda

Tato kapitola se věnuje popisu experimentu provedeného v rámci praktické části bakalářské práce a následné analýze získaných dat pomocí vybraných statistických metod.

2.1 Prostorová dezorientace a vizuální iluze

Před zahájením experimentů každý účastník měl 20 minut na volný let, během kterého se mohl seznámit se simulátorem a konfigurací letadla, a procvičit různé letové manévry, díky čemuž připravit se na následující experimentální část. Součástí přípravy k experimentu bylo i provádění 3 přiblížení na dráhu o šířce 60 m za účelem adaptace k chování simulovaného letouna v podmínkách konečné fáze letu a potlačení vlivu procesu učení během přiblížení. Data z přepravní části nebyla součástí vyhodnocení. Během seznamovací části byly pilotům sděleny podmínky účasti v experimentu a takže jejich jednotlivé úkoly. Pak účastníci vyplnili ankety týkající se jejich letové praxe.

Po tom následovala experimentální část, která se skládala ze 3 přiblížení na přistávací dráhu 06 LKLN - Plzeň/Líně. Tato dráha byla vybrána kvůli tomu, že odpovídá podmínkám experimentu, jako jsou její základní poměr stran, zpevnění asfaltem a vhodné množství vizuálních podnětů kolem ní. Technická omezení použitého softwaru si vynutila drobné úpravy prostoru okolo letiště. Zobrazení dráhy z kabiny pilota je na obrázku 14.



Obrázek 14: Zobrazení dráhy z kabiny pilota.

Každé přiblížení se začínalo ve vzdálenosti 6NM od prahu dráhy a ve výšce AMSL 1500 ft. Piloti měli za úkol letět přímo, dokud nedosáhnou 3° úhlu klesání, a poté provést vizuální přiblížení na dráhu s cílem udržet 3° úhel klesání, což simulovalo typické podmínky vizuálního přistání. Každé jednotlivé přiblížení probíhalo dle stejného scénáře a trvalo zhruba 5 minut.



Cílem experimentu bylo zaznamenat a porovnat přesnost přiblížení mezi jednotlivými pokusy, se zvláštním zaměřením na to, jak iluze poměru stran dráhy ovlivňuje vnímání pilotů a jejich schopnost udržet stabilní klesání.

Za účelem získání informací o tom, jak vizuální iluze poměru stran dráhy ovlivňuje vnímání pilotů, se jednotlivá přiblížení na přistávací dráhu lišila pouze šířkou dráhy:

- 1) 60 m – standartní,
- 2) 30 m – užší,
- 3) 90 m – širší.

Šířka dráhy byla ručně změněna v editoru scén, který poskytuje open-source software WorldEditor. Jelikož délka dráhy vždy byla stejná, tato změna šířky přistávací dráhy pro jednotlivá přiblížení byla zvolena, aby bylo možné porovnat schopnost udržovat ideální rovinu sestupu při různých poměrech stran dráhy.

Všechna přiblížení proběhla v simulované denní vizuální scéně plné vizuálních podnětů (domy, vegetace) ve VMC podmínkách. Letová dohlednost přesahovala 10 km a lety proběhali za bezvětří a bez turbulence, aby se minimalizovaly vnější rušivé vlivy. Aby byly zajištěny podmínky potřebné pro vznik iluze, byla scéna přistávací dráhy upravena vypnutím světelných soustav PAPI a ALS, které by jinak ihned informovaly pilota o nedodržení 3° úhlu sestupu. Zdrojem informace pro prostorovou orientaci pilotu tak zůstali jen informace z přístrojové desky a vizuální reference vůči objektům na zemi při výhledu z kokpitu. Tato nastavení byla stejná u každého přiblížení, čímž byly zajištěny stejné podmínky pro všechny piloty.

2.2 Vybavení

Pro účely experimentu byl využit Biofeedback VR simulátor B737-7, který se nachází na Ústavu letecké dopravy ČVUT. Tento statický simulátor se skládá z primárních ovládacích prvků, panelu pro ovládání paky připustí, vztlakových klapek a pilotova sedadla. Za simulátorem se nachází instruktorská stanice, obsahující zobrazení pohledu z pilotního sedadla a informace o poloze, výšce, rychlosti a kurzu letadla s možností ovládání těchto parametrů podle potřeb instruktora. Instruktorská stanice během měření byla využívána především pro přemístění letadla na výchozí bod každého přiblížení a ukládání naměřených dat. Využitý simulátor je zobrazen na obrázku 15.

Celý experiment probíhal s využitím virtuální reality, zajištěné pomocí VR headsetu FOVE (FOVE Inc., Tokyo, Japan) [29]. Účelem bylo vytvořit co nejreálnější prostředí při simulaci letu a vygenerovat podmínky pro vznik analyzované iluzi.

Experimentální lety se uskutečnily v prostředí letového simulátoru X-plane 11 Flight Simulator (Laminar Research Ltd., Columbia, South Carolina, USA). Jedná se o interaktivní a

flexibilní simulátor, který poskytuje také funkci záznamu letových dat, což je pro účely této práce nezbytné.



Obrázek 15: Rozložení prvků Biofeedback VR simulátoru.

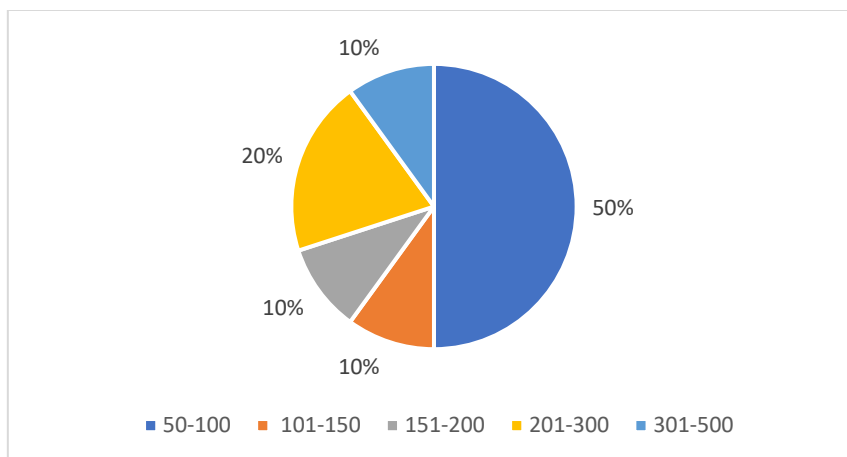
Prvky statického simulátoru odpovídaly letounu B737-7, avšak pro experiment byl ve simulátoru využit letoun Cessna 172 Skyhawk. Využití letounu B737-7 nebo jiného vícemotorového letounu by pro začátečníky bylo značně obtížné a mohlo by negativně ovlivnit výsledky měření. Jinak Cessna 172 je jedním z nejrozšířenějších a nejoblíbenějších letounů pro výcvik, a její ovládání je obvykle možné i pro piloty s nízkým počtem nalétaných hodin.

2.3 Subjekty

Praktického měření se zúčastnilo celkem 10 pilotů. Byl každý z nich v době měření studentem nebo absolventem Fakulty dopravy ČVUT, studijního programu profesionální pilot. Subjekty měly za sebou více než 50 letových hodin na motorovém letadle, což bylo podmínkou zúčastnění experimentu. Podrobnější informaci o rozdělení pilotů dle hodin náletu je na obrázku 16.

Účastníci experimentu, všichni aktivní držitelé pilotních licencí PPL (Private Pilot License) nebo CPL (Commercial Pilot License), měli oprávnění provádět sólo lety. Každý pilot byl držitelem průkazu letové způsobilosti první třídy, což zahrnuje dobrý zrak a je důležitým aspektem při měřeních, která se týkají vlivu vizuálních iluzí.

Piloti se zúčastnili měření dobrovolně. Před experimentem byly seznámeni s jejich úkoly a každý z nich podepsal informovaný souhlas s účastí ve výzkumu a se zpracováním osobních údajů.



Obrázek 16: Celkový hodinový nálet subjektu na letounech.

2.4 Zpracování dat

Během experimentů pro účely bakalářské práce byly zaznamenány letové parametry s frekvencí 5 Hz. Pro to byl využit integrovaný zapisovač dat v prostředí X-Plane 11, který umožňuje extrahovat rozsáhlé množství letových parametrů ve formě textového souboru. V rámci procesu záznamu byla sledována časová razítka jednotlivých vzorků, výška AMSL, zeměpisná šířka a délka, které pak byly přepočítány na úhel sestupu. Tato data slouží jako základ pro následnou analýzu a vyhodnocení výsledků.

Z výsledného textového souboru byla odstraněna data, která se netýkala měření, a následně byla jednotlivá přiblížení orámována začátkem a koncem na základě informací o vzdálenosti od dotykové zóny přistávací dráhy. Pro účely předzpracování datového souboru byla využita aplikace Excel 2023. Tato programové řešení usnadňovalo práci s velkým objemem dat získaných během experimentu.

Pro zjištění přesnosti dodržování letových úkolů byly využity tři metriky pro každé přiblížení:

- Střední kvadratická chyba pilotáže (RMSE) – slouží jako primární ukazatel pro hodnocení správnosti a přesnosti přiblížení vůči 3° úhlu sestupu. Tato metrika měří standardní odchylku mezi předpokládanými hodnotami modelu a skutečnými hodnotami dat.
- Směrodatná odchylka (SD) - slouží jako další míra přesnosti přiblížení a ukazuje, jak jsou hodnoty souboru dat distribuovány kolem střední hodnoty.
- Maximální absolutní chyba (MAE) - je maximální odchylka mezi skutečnou hodnotou a předpokládanou hodnotou. Maximální absolutní chyba je užitečná pro identifikaci největších chyb v datovém souboru.



2.5 rANOVA

Před použitím vhodného buď parametrického nebo neparametrického statistického testu bylo nutné otestovat soubor dat na normalitu jejich rozdělení. Pro to byl využit Anderson-Darlingův test normality v prostředí Matlab 2023a, jehož výsledky potvrdily normalitu rozdělení dat na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Z toho důvodu bylo rozhodnuto využít parametrický test Repeated Measures ANOVA.

Test Repeated Measures ANOVA, známý také jako rANOVA, je statistická metoda používaná pro analýzu dat, kde stejné subjekty jsou měřeny opakovaně pod různými podmínkami [30]. Tento typ testu je užitečný k hodnocení, jak různé šířky přistávacích drah ovlivňují přesnost a konzistenci přistávacích manévřů pilotů. V případech, když rANOVA indikovala významný rozdíl mezi skupinami, byla využita post-hoc analýza pro určení mezi kterými skupinami existují signifikantní rozdíly. To se dalo udělat pomocí Tukey-Kramerova testu zajištěného pomocí funkce multcompare v prostředí Matlab 2023a.

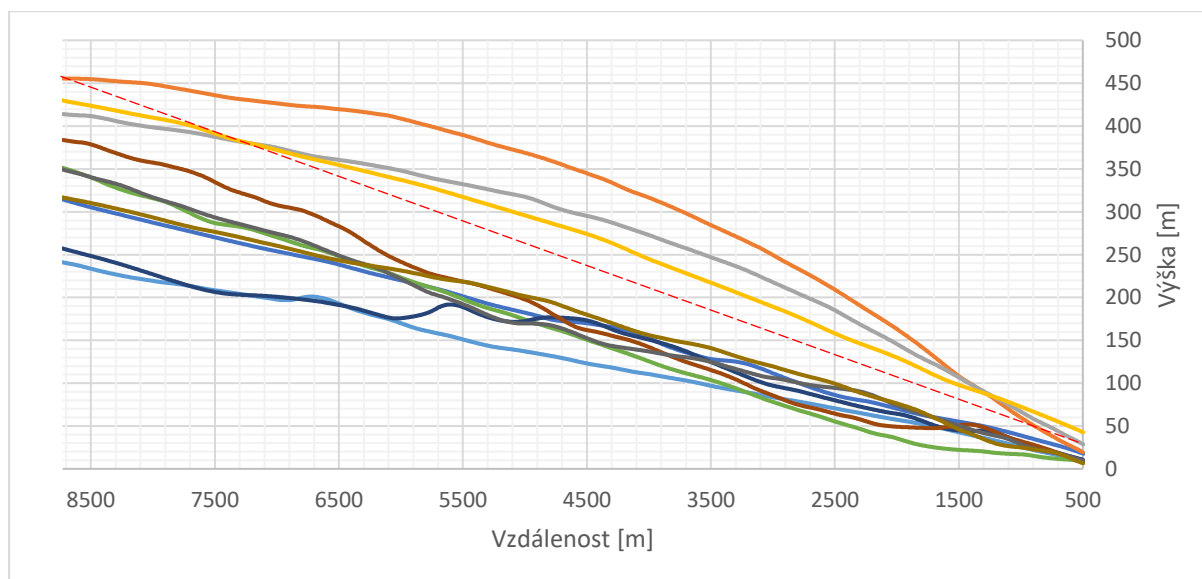
3. Výsledky

V této části práce jsou představeny výsledky měření a následné analýzy provedené práce. Pro grafické znázornění výsledku byly využity grafické znázornění průběhu přiblížení a boxploty neboli krabicové diagramy vypočítaných hodnot. Krabicový graf je znázorněn tak, že "krabice" zahrnuje hodnoty mezi prvním a třetím kvantilem. Čára uvnitř krabice označuje medián. Z krabice pak vycházejí "vousy", které ukazují na minimální a maximální hodnoty, nezahrnující odlehle hodnoty, které jsou zobrazeny jako samostatné body.

Součástí této kapitoly také i provedení po experimentech dotazník se subjektivním hodnocením analyzované iluze.

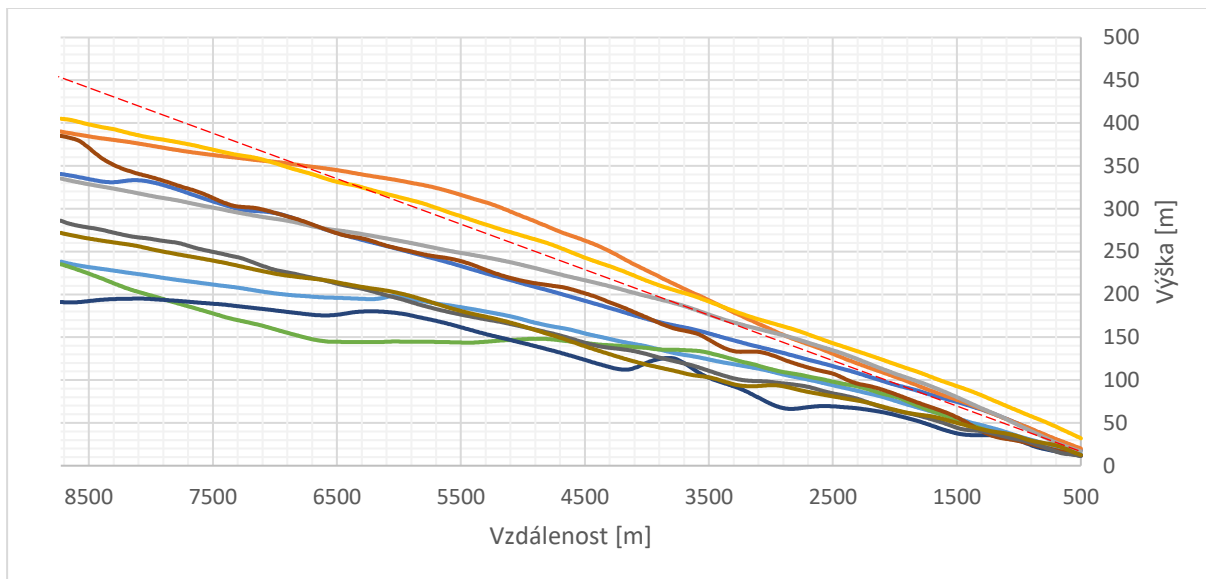
3.1 Výškový profil přiblížení

Průběhy jednotlivých přiblížení ve formě výškového profilu letu v závislosti na vzdálenosti od letiště, z čehož byly vypočteny úhly sestupu pro následnou analýzu, jsou graficky zobrazeny na obrázcích 17, 18, 19. Pro lepší názornost byla přidána i přerušovaná červená přímka znázorňující 3° úhel sestupu.

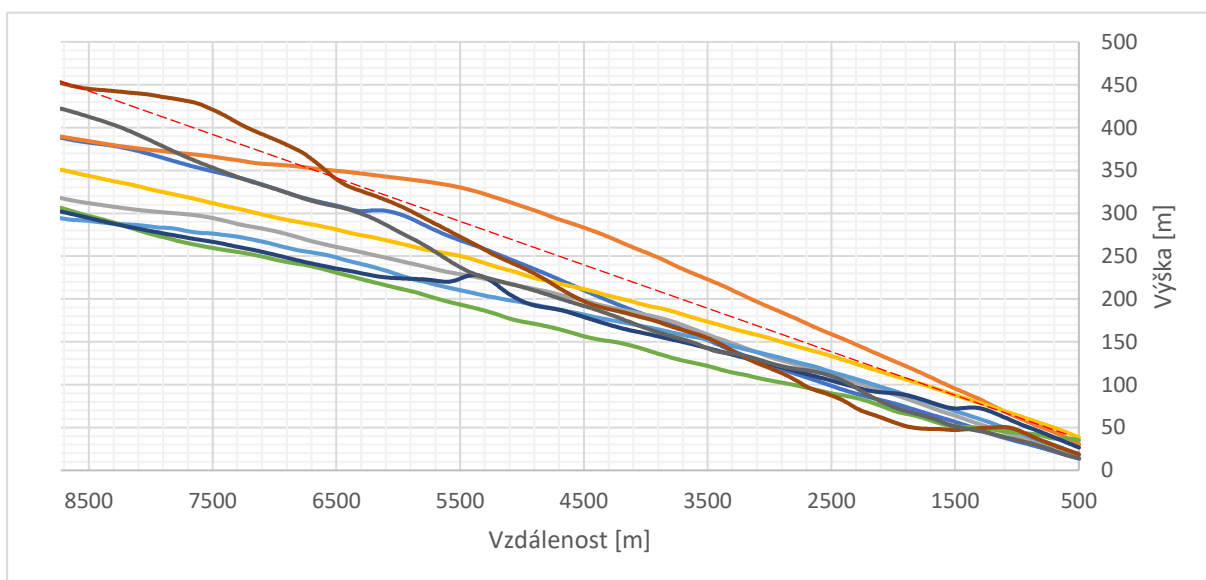


Obrázek 17: Profil přiblížení na dráhu širokou 60 m.

Test rANOVA parametru RMSE na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ ukázal, že existuje významný rozdíl v závislé proměnné mezi jednotlivými přiblížení s $p = 0,0054$. Následující post-hoc párový t-test ukázal, že průměr páru přiblížení 1 a 3, tedy na dráhu širokou 60 m a 90 m, je významně odlišný ($p = 0.0002394$). Rozložení dat parametru RMSE ve formě boxplotu je znázorněno na obrázku 20.



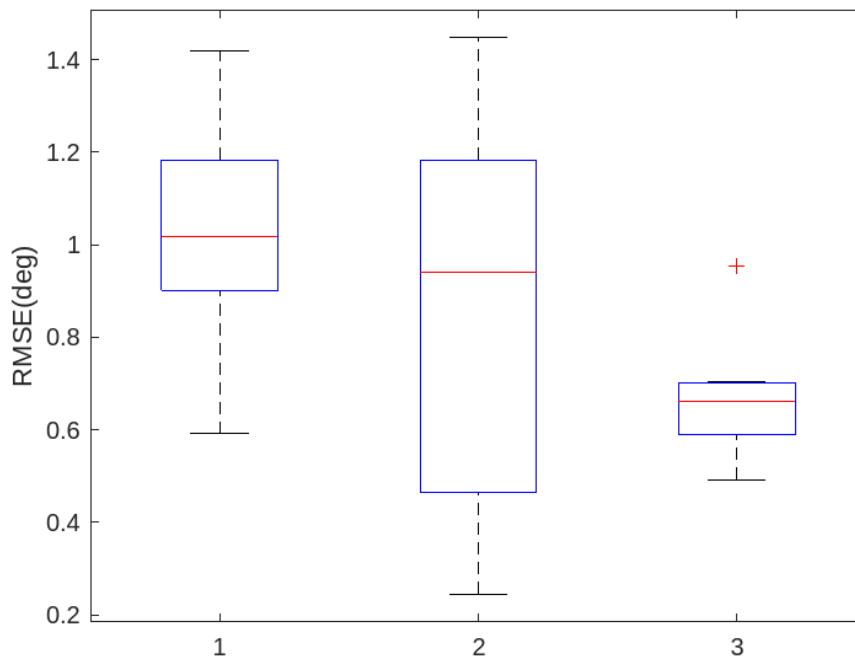
Obrázek 18: Profil přiblížení na dráhu širokou 30 m.



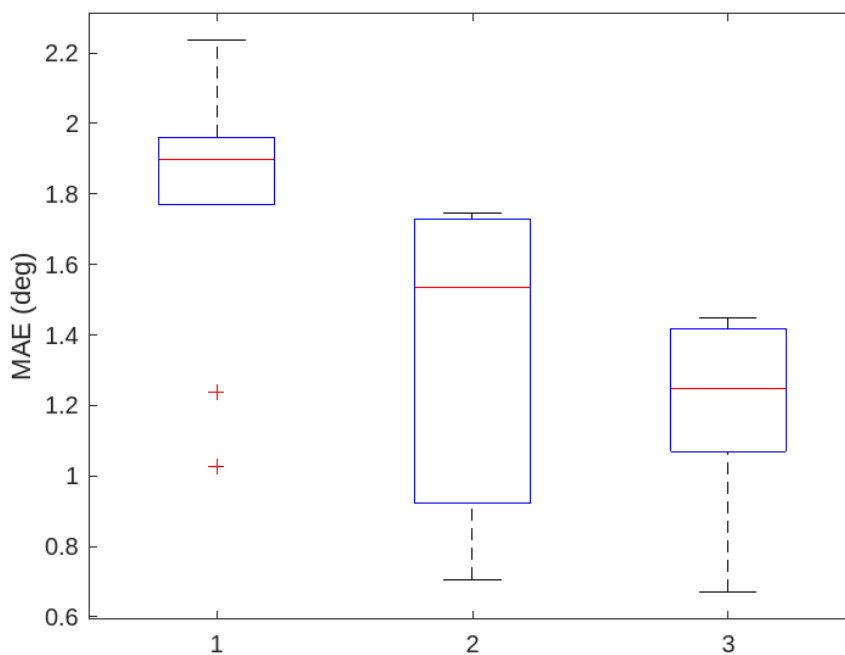
Obrázek 19: Profil přiblížení na dráhu širokou 90 m.

Následně výsledek testu rANOVA parametru MAE prokázala signifikantní rozdíl mezi jednotlivými přiblíženími na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ s hodnotou $p = 0,001321$. Následující post-hoc párový t-test ukázal, že průměr páru přiblížení 1 a 2, tedy na dráhu širokou 60 m a 30 m ($p = 0.006222$), a páru přiblížení 1 a 3, tedy na dráhu širokou 60 m a 90 m ($p = 0.002815$), jsou významně odlišné. Rozložení dat parametru MAE je znázorněno na obrázku 21.

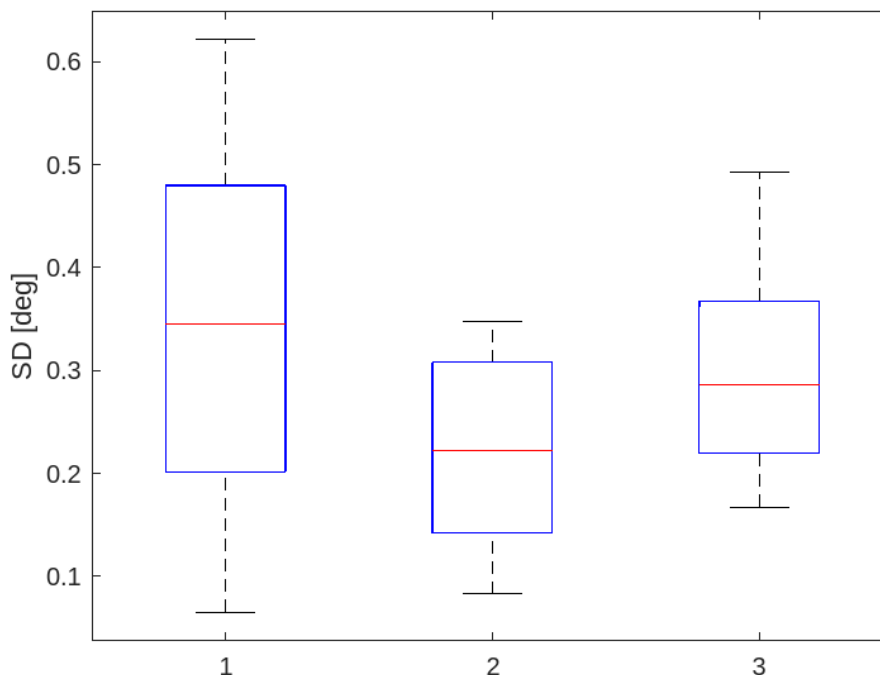
Jinak výsledek testu rANOVA parametru SD neprokázal významný statistický rozdíl mezi jednotlivými přiblížení s hodnotou $p = 0,1147$ u parametru SD. Rozložení dat ve formě boxplotu je znázorněno na obrázku 22.



Obrázek 20: Zobrazení distribuci střední kvadratické chyby.



Obrázek 21: Zobrazení distribuci průměrné absolutní odchylky.

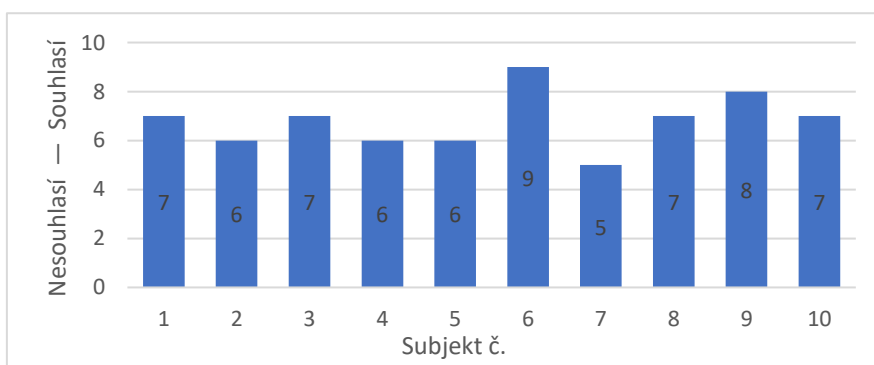


Obrázek 22: Zobrazení distribuci směrodatné odchytky.

3.2 Dotazník

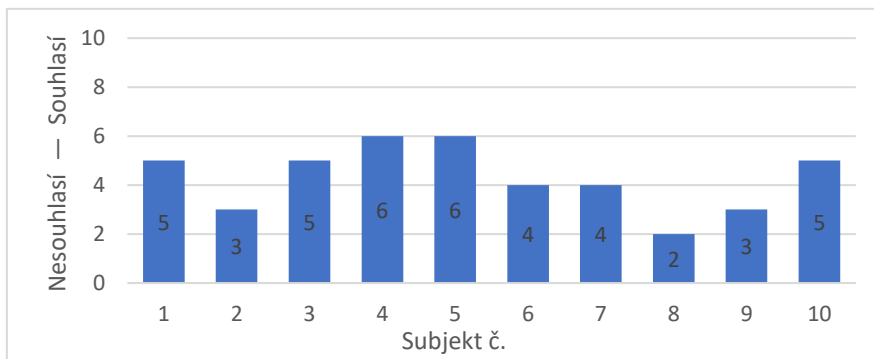
Po skončení měření každý účastník měl za úkol vyplnit dotazník týkající se jeho vjemu z experimentu a hodnocení analyzované vizuální iluze. Celkem bylo 5 otázek, na které účastníci měli odpovídat číslem od 1 do 10, kde 1 znamená, že s daným tvrzením účastník vůbec nesouhlasí, a 10 znamená, že s daným tvrzením plně souhlasí.

Otázka č. 1 byla „Podle vašeho názoru, podařilo se vám splnit podmínky úkolu týkajícího se udržování 3° úhlu klesání?“. Subjekty ohodnotily správnost plnění úkolu s průměrnou hodnotou 6,8. Všechny odpovědi na danou otázku jsou znázorněny na obrázku č. 23.



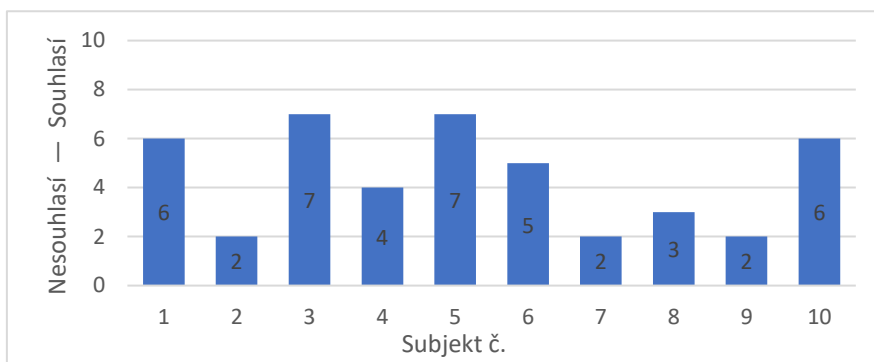
Obrázek 23: Vyhodnocení otázky č. 1.

Na otázku č. 2 „*Cítil/a jste potíže při dodržování podmínek úkolů?*“ subjekty odpovídaly s průměrnou hodnotou 4,3. Všechny odpovědi na danou otázku jsou znázorněny na obrázku č. 24.



Obrázek 24: Vyhodnocení otázky č. 2.

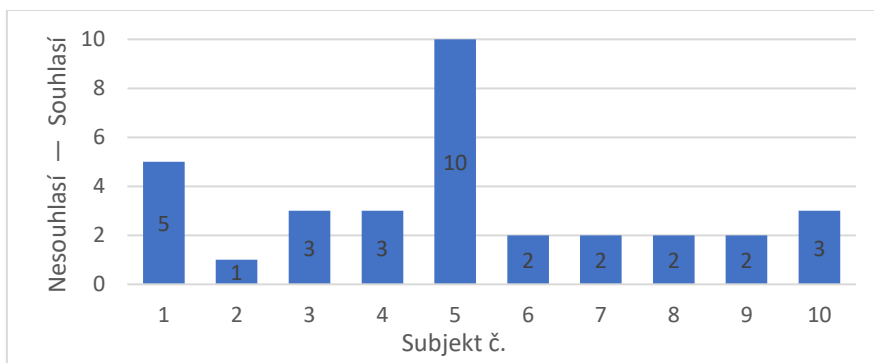
Na otázku č. 3 „*Jak si myslíte, že jste trpěl/a vizuální iluzí během experimentů?*“ subjekty odpověděly s průměrnou hodnotou 4,4. Všechny odpovědi na danou otázku jsou znázorněny na obrázku č. 25.



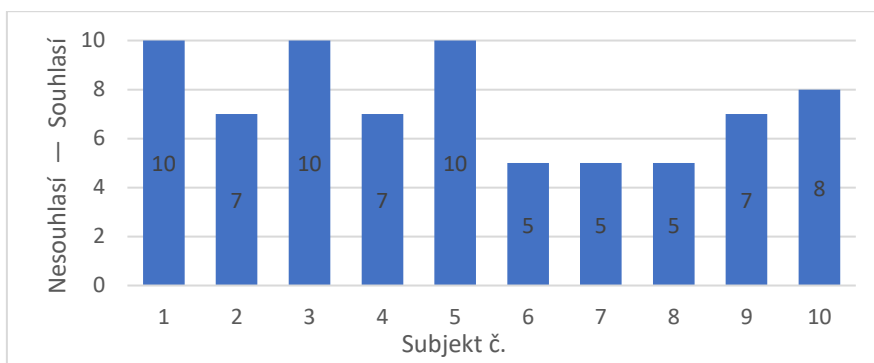
Obrázek 25: Vyhodnocení otázky č. 3.

Otázka č. 4 zněla „*Pokud jste trpěl/a iluzí, jak byste ohodnotil/a vliv této iluze na bezpečnost letů?*“. Subjekty ohodnotily vliv analyzované iluze na bezpečnost letu s průměrnou hodnotou 3,3. Všechny odpovědi na danou otázku jsou znázorněny na obrázku č. 26.

Poslední otázka č. 5 byla „*Domníváte se, že využití VR simulací by mohlo zlepšit výcvik v oblasti vizuálních iluzí?*“. Subjekty odpovídaly na tuto otázku s průměrnou hodnotou 7,4. Všechny odpovědi na danou otázku jsou znázorněny na obrázku č. 27.



Obrázek 26: Vyhodnocení otázky č. 4.



Obrázek 27: Vyhodnocení otázky č. 5.



4. Diskuze výsledků

Z naměřených dat bylo zjištěno množství potřebných pro analýzu. Již grafické znázornění průběhu letu ukazuje na celkovou tendenci u piloty k podhodnocování úhlu sestupů ve vztahu k ideální sestupové rovině během VFR přiblížení. To za následek vede k ploššímu přiblížení.

Následné zpracování letových dat umožnilo hodnotit vliv iluze poměru stran dráhy na správnost přiblížení. Celkem pomocí testu rANOVA bylo analyzováno 3 parametru (RMSE, směrodatná odchylka a průměrná absolutní odchylka) u přiblížení na dráhy o šířkách 60 m, 30 m a 90 m.

Z boxplotu a číselných výsledků u parametru RMSE je patrný statisticky významný ($p = 0.0002394$) rozdíl mezi referenční dráhou širokou 60 m a dráhou širokou 90 m. I když výsledky ukazují menší chybovost přiblížení na širší dráhu, to může být částečně spojeno s podhodnocováním úhlu sestupu při přiblížení na standardní dráhu a následným plošším přiblížením. Srovnáním grafického zobrazení přiblížení na širší dráze ve vztahu ke přiblížení na standardní dráhu je vidět tendenci k letu mírně vyššímu, než tomu bylo během přiblížení na dráhu o šířce 60 m, což odpovídá teoretickým předpokladům o nadhodnocování úhlu sestupu při přiblížení na neobvykle širokou pro pilota přistávací dráhu.

Další analýza parametru maximální absolutní chyby ukazuje signifikantní rozdíl mezi jednotlivými přiblíženími, hlavně mezi páry přiblížení na dráhy 60 m a 30 m ($p = 0.006222$), a také mezi 60 m a 90 m ($p = 0.002815$). Stejně jako s parametrem RMSE, druhé a třetí přiblížení ukazují tendenci k menší chybovosti, což taky může být odůvodněno velké chybovosti prvního přiblížení na standardní dráhu. Avšak to může být i důsledkem limitaci, že kvůli provádění třech přiblížení po sobě subjekty mohli během experimentu se učit a s každým přiblížením letět záměrně výše s ohledem na subjektivní hodnocení přiblížení před tím.

Jinak analýza parametru směrodatné odchylky nepotvrzuje hypotézu o náchylnosti k analyzované vizuální iluze, jelikož byly zanechané na hladině významnosti $\alpha = 0.05$ s hodnotou $p = 0.1147$. To může být důsledkem jak limitace uvedené výše, tak i případně nějaké další. Mezi takové omezení patří i krátká doba jednotlivých měření, když každé bylo standardizováno a začínalo se ve vzdálenosti 6NM od prahu dráhy. V takových podmínkách subjekty teoreticky mohly rozpoznat rozdíly mezi obrazy dráhy na sítnici pomocí informací z paměti.

Další omezení, které je nutné uvést při hodnocení výsledků měření, je spojeno s výběrem vybavení. Využití VR headsetu zvýšilo věrohodnost simulovaného prostředí, avšak kvůli tomu nebylo možné vidět ovládací prvky simulátoru, což snižovalo komfort ovládání letadlem během měření a mohlo ovlivnit výsledky. Pokud tento problém měl vliv na výsledky měření, lze předpokládat i postupnou adaptaci subjektu na simulátor a za následek postupnou redukci



vlivu tohoto omezení na výsledek s každým měřením. Nicméně, dle názoru autora, díky délce seznamovací části podobný vliv na výsledná data byl měl být minimální.

Nakonec jistou limitaci provedeného měření představuje i poměrně malý počet subjektů, což je odůvodněno malým počtem vhodných pro experiment dobrovolníků. I když se dalo mírně překonat počet subjektů některých minulých studií [25] [26], pro lepší reprezentativnost výsledku to nejví jako dostatečný.

Výsledek dotazníkového šetření také představuje zdroj cenných informací. Subjekty ohodnotily správnost svého přiblížení průměrnou hodnotou 6,8 a spíše necítili potíže s plněním úkolu (s průměrnou hodnotou 4,3) a ani vliv iluze během měření (s průměrnou hodnotou 4,4). Dokonce i vliv analyzované iluzi byl ohodnocen průměrnou hodnotou 3,3. Avšak to konfrontuje s výsledky provedené analýzy, během které se byl zjištěn signifikantní vliv na výkonnost přiblížení. Dle názoru autora to potvrzují potřebnost aktivního tréninků letových iluzích pro zvýšení bezpečnosti letu a vhodnost využití na to VR simulaci se ve většině potvrdily i subjekty měření s průměrným hodnocením 7,4.



5. Závěr

Cílem této práce bylo ověřit, zda je možné vytvořit podmínky pro iluzi poměru stran dráhy při přiblíženích na simulátoru. Teoretická část studie představila základ pro porozumění problematice a současný stav v oblasti analyzované iluze. Z důvodu toho, že v současnosti se tento problém aktivně neřeší a celkově existuje jen malý počet studií zabývajících se danou iluzí, byl na základě informací uvedené v teoretické části navržen experiment. Provedený experiment měl za cíl zjistit vliv dané iluze na výkonnost pilota na základě objektivního hodnocení. Experiment byl proveden na letovém simulátoru s využitím VR headsetu, což významně zvýšilo věrohodnost simulovaného prostředí ve srovnání s minulými studii. Letová data, sbíraná během VFR přiblížení, byly následně analyzovány na odchylnost od ideální sestupové roviny. Analýza parametru směrodatné odchylky neukázala signifikantní vliv iluze na výkonnost subjektu. Avšak dva další parametry, RMSE a maximální absolutní chyby, pomocí testu rANOVA potvrdily hypotézu o nalezení vlivu dané iluze během letu v simulovaném prostředí.

Studie měla několik limitací, se kterými by bylo vhodné počítat při dalším rozvoji této problematiky. Pro další zkoumání dané iluze je doporučeno využití většího počtu subjektů, protože 10 subjektů se nejeví jako dostatečný. Počet účastníků experimentu byl omezen malým množstvím dobrovolníků. Dalším omezením je mírná nevhodnost letového simulátoru, která byla omezená technickými a ekonomickými důvody. Konečně se doporučuje zvětšení doby jednotlivých měření, což by mělo vytvořit více realistické podmínky pro výskyt analyzované iluze.

Z dotazníkového šetření, který subjekty měly za úkol vyplnit hned po měření, je vidět že subjekty spíše necítili na sebe vliv iluze a byly celkem spíše spokojeny se svým postupem přiblížení, což konfrontuje s výsledky provedené analýzy. Avšak subjekty ve většině souhlasily s tím, že využití VR simulace pomůže zlepšit výcvik letových vizuálních iluzí.

Na základě získaných výsledků a zpětné vazby od účastníků experimentu lze dospět k závěru, že další výzkum v této oblasti je důležitý pro zlepšení tréninkových metod v letectví. Také, dle názoru autora, vzhledem k pozitivním ohlasům účastníků na VR technologie by se mělo zvážit začlenění virtuální reality do standardních výukových programů pilotů pro efektivnější přípravu na reálné podmínky letu a zvýšení celkové bezpečnosti v letectví.



Seznam použité literatury

1. SHAPPELL, S., & WIEGMANN, D. U.S. naval aviation mishaps 1977–92: Differences between single- and dual-piloted aircraft. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 67. 1996, s 65–69.
2. FAA. Pilot's handbook of aeronautical knowledge. Skyhorse Publishing Inc., 2023.
3. Airplanes Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents: Worldwide Operations 1959–2005 [online]. Seattle: Aviation Safety Boeing Commercial Airplanes, 2006. Dostupné z: <https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/3810.pdf>
4. GIBB, R., GRAY, R., & SCHARFF, L. *Aviation Visual Perception: Research, Misperception and Mishaps* (1st ed.). Routledge. 2010. Dostupné z: <https://doi.org/10.4324/9781315568584>
5. PREVIC, Fred H. a William R. ERCOLINE. *Spatial disorientation in aviation*. Reston: American institute of aeronautics and astronautics, c2004. Progress in astronautics and aeronautics. ISBN 978-1-56347-654-9.
6. BENSON, A. Spatial disorientation – general aspects. In J. Ernsting & P. King (Eds.), *Aviation medicine*. London: Butterworths & Co. Ltd. 1989, s 277-296.
7. CAMPBELL, R. D. a Michael Bagshaw. *Human performance and limitations in aviation* [online]. 3rd ed. New York: Wiley, 2008. Dostupné z: <http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/homepage/?isbn=9780470774472>. ISBN 978-0-4707-7447-2.
8. ALAR tool kit: Approach-and-landing Accident Reduction. Official release v. 3.0. Alexandria, VA: Flight Safety Foundation. 2000.
9. BENSON, A.J. Spatial Disorientation – Spatial Aspects, Common Illusion and Motion Sickness. In ERNSTING, J., NICHOLSON, A.N. and RAINFORD, D.J. (eds.) *Aviation Medicine*. Oxford: Butterworth Heinemann. 1999, s. 419-471.
10. PARMET, A. J. and ERCOLINE, W. R. Spatial orientation in flight. In J. R. Davis, R. Johnson, J. Stepanek, and J. A. Fogarty (Eds.), *Fundamentals of Aerospace Medicine*. Philadelphia: Lippincott, Williams, and Wilkins. 2008.
11. GIBB, Randall & ERCOLINE, Bill & SCHARFF, Lauren. *Spatial Disorientation: Decades of Pilot Fatalities*. *Aviation, space, and environmental medicine*. 2011. 82. 717-24. 10.3357/ASEM.3048.2011. Dostupné z DOI: 10.3357/ASEM.3048.2011
12. SAZEL, M., and J. PAVLÍK. Vojenské letecké nehody a prostorová desorientace. *Voj. zdrav. Listy*. 2005, s. 103-109.
13. GILLINGHAM KK. The spatial disorientation problem in the United States Air Force. *J Vestib Res*. PMID: 1342404. 1992, s.297-306



14. NEWMAN, David G., and AFAIM FAICD. An overview of spatial disorientation as a factor in aviation accidents and incidents. No. B2007/0063. Canberra City: Australian Transport Safety Bureau, 2007. Dostupné z: <https://www.atsb.gov.au/sites/default/files/media/29971/b20070063.pdf>
15. STOTT, J.R.R. Orientation and disorientation in aviation. *Extrem Physiol Med* 2.2013. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/2046-7648-2-2>
16. KARAPETJAN, Liana. Kvantifikace vestibulárních a vizuálních iluzí u pilotů [online]. Praha, 2019. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní. doc. Ing. Bc. Vladimír Socha, Ph.D., Ing. Lenka Hanáková. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/85321/F6-BP-2019-Karapetjan-Liana-Bakalarska%20prace.pdf>
17. RIORDAN, R. H. Monocular visual cues and space perception during the approach to landing. *Aerospace Medicine*, 45. 1974, s. 7667–7671.
18. CHEUNG, B., Spatial disorientation: more than just illusion. *Aviat. Space Environ. Med.* 84(11):1211–1204, 2013.
19. SOTO, D., HODSOLL, J., ROTSHTEIN, P., and HUMPHREYS, G. W. Automatic guidance of attention from working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 12. 2008, s. 342–348.
20. TREDICI, T. J., and IVAN, D. J. Ophthalmology in aerospace medicine. In: *Fundamentals of Aerospace Medicine*, Davis, Johnson, Tepanek and Fogarty, (Eds.). New York: Lippincott Williams and Wilkins. 2008.
21. FAA. Medical Facts for Pilots. Federal Aviation Administration - Civil Aerospace Medical Institute. Oklahoma, USA. 2011.
22. BEDNAREK H, JANEWICZ M, PRZEDNCZEK M. The influence of sloping cloud in the visual field on the cognitive determinants of military pilots' behavior. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*. 2019;32(5):653-662. Dostupné z DOI: 10.13075/ijomeh.1896.01430.
23. BEDNAREK, Hanna; TRUSZCZYNSKI, Olaf; WUTKE, Karolina. Cognitive Determinants of Pilots' Effectiveness Under a False Horizon Illusion. *The International Journal of Aviation Psychology*. 2013, roč. 23, č. 3, s. 267–287. Dostupné z DOI: 10.1080/10508414.2013.799363
24. MERTENS, H.W. Runway image shape as a cue for judgment of approach angle. Oklahoma, USA, 1979. Disertační práce. The University of Oklahoma.



25. MERTENS HW, LEWIS MF. Effect of different runway sizes on pilot performance during simulated night landing approaches. *Aviat Space Environ Med* 1982; 53:463-471. Dostupné z: https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/21185/dot_21185_DS1.pdf
26. LINTERN, Gavan; WALKER, Michael B. Scene Content and Runway Breadth Effects on Simulated Landing Approaches. *The International Journal of Aviation Psychology*. 1991, roč. 1, č. 2, s. 117–132. Dostupné z DOI: 10.1207/s15327108ijap0102_3.
27. Paweł Stróżak, Piotr Francuz, Rafał Lewkowicz, Paweł Augustynowicz, Agnieszka Fudali-Czyż, Bibiana Bałaj & Olaf Truszczyński. Selective Attention and Working Memory Under Spatial Disorientation in a Flight Simulator. *The International Journal of Aerospace Psychology*. 2018, 28(1-2), 31-45. DOI: 10.1080/24721840.2018.1486195. ISSN 2472-1840. Dostupné také z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/24721840.2018.1486195>
28. Lewkowicz R, Stróżak P, Bałaj B, Francuz P, Augustynowicz P. Selective Auditory Attention and Spatial Disorientation Cues Effect on Flight Performance. *Aerospace Medicine and Human Performance*. 2018, 89(11), 976-984. DOI: 10.3357/AMHP.5153.2018. ISSN 2375-6314. Dostupné také z: <http://www.ingentaconnect.com/content/10.3357/AMHP.5153.2018>
29. FOVE 0 Eye Tracking Virtual Reality Devkit User Manual. 2017. Dostupné také z: https://archives-fove.s3-ap-northeast-1.amazonaws.com/setup/FOVE0_User_Manual_Eng_2021.pdf.
30. GABRHEL, Vít. Repeated-measures Anova. *Fakulta sociálních studií Masarykova univerzita v Brně*, 2016. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1423/podzim2016/PSY232/um/65188849/9._setkani.pdf