



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

OVĚŘENÍ MATEMATICKÉHO MODELU LETOVÉHO SIMULÁTORU

MATHEMATICAL MODEL VERIFICATION FOR FLIGHT SIMULATOR

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tatiana Kminiaková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Filip Sklenář, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav: Letecký ústav
Studentka: **Bc. Tatiana Kminiaková**
Studijní program: Letecká a kosmická technika
Studijní obor: Stavba letadel
Vedoucí práce: **Ing. Filip Sklenář, Ph.D.**
Akademický rok: 2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Ověření matematického modelu letového simulátoru

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Předmětem práce je specifikovat požadavky na certifikaci letových simulátorů určených pro výcvik CPL pilotů dle předpisové základny EASA/FAA. Následně na základě rozboru předpisu definovat kontrolované parametry vztažené k letovým vlastnostem a výkonům. Pro tyto parametry navrhnout způsob ověření pomocí letových měření k porovnání odezev simulátoru a fyzického letounu.

Cíle diplomové práce:

- 1) Možnosti využití simulátorů v leteckém výcviku
- 2) Rozbor požadavků pro certifikaci simulátorů dle předpisové základny EASA/FAA a definice požadovaných charakteristik vztažených k letovým vlastnostem a výkonům letounu
- 3) Návrh letových měření pro ověření parametrů matematického modelu i fyzického letounu
- 4) Návrh postupu vyhodnocení letových měření

Seznam doporučené literatury:

CODE 14 CFR Part 60: FLIGHT SIMULATION TRAINING DEVICE INITIAL AND CONTINUING QUALIFICATION AND USE. 1. United States: Federal Aviation Administration, 2019.

CS-FSTD: Certification Specifications for Aeroplane Flight Simulation Training Devices. 1. Germany: European Aviation Safety Agency, 2018.

DANĚK, V. Mechanika letu I - Letové výkony. Mechanika letu I - Letové výkony. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2019. p. 1-300. ISBN 978-80-7623-014-9.

DANĚK, V. Mechanika letu II - Letové vlastnosti. Mechanika letu II - Letové vlastnosti. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. p. 1-334. ISBN: 978-80-7204-761- 1.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práca sa zaoberá návrhom letových meraní, ktoré sú potrebné na získanie dát pre návrh simulátora typu General Aviation podľa predpisu EASA/FAA. V praktickej časti práce sú vybrané a opísané potrebné merania zamerané na letové výkony a vlastnosti, ktoré vyžaduje predpis. Pre overenie modelu simulátora a certifikačných parametrov bol navrhnutý súbor letových meraní, ktorý obsahuje pozemné a letové skúšky. V záverečnej časti práce je vypracovaný postup vyhodnotenia letových meraní s hodnotením a doporučením úpravy modelu simulátora.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

General Aviation, simulátor, EASA, FAA, letové merania, letové vlastnosti, letové výkony, overenie modelu

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the flight test program which is necessary to obtain the required data for EASA/FAA flight simulator certification. Flight tests are focused on flight performance and characteristics. Required regulations are selected and described. To verify the simulator model and certification parameters a flight test program was created. The flight test program is composed of flight and ground tests. In the final part of the thesis, the flight test evaluation procedure is shown. Each test contains the final valuation or recommendation for simulator model modification.

KEYWORDS

General Aviation, simulator, EASA, FAA, flight test, flight performance, flight characteristics, model verification

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

KMINIAKOVÁ, Tatiana. *Ověření matematického modelu letového simulátoru*. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140447>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce Filip Sklenář.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Ja, Tatiana Kminiaková, prehlasujem, že som diplomovú prácu vypracovala samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a že som uviedla všetky použité zdroje a literatúru.

V Brne, dňa 20.05.2022

.....

Bc. Tatiana Kminiaková

POĎAKOVANIE

Ďakujem Ing. Filipovi Sklenárovi, Ph.D za trpezlivosť, vľúdnosť počas konzultácií a taktiež za odborné a cenné rady. Ďalej by som rada poďakovala firmám Uranos R&D a Czech Aircraft Group za poskytnutie potrebných dát a rád. Nakoniec moja vďaka patrí mojim rodičom a celej rodine za podporu počas celého štúdia.

OBSAH

1. ÚVOD	14
2. PS-28 CRUISER/ SPORTCRUISER	15
3. Typy simulátorov podľa predpisov easa/faa.....	17
3.1. Typy simulátorov podľa predpisov EASA.....	17
3.1.1. Letový simulátor (FFS)	17
3.1.2. Letové výcvikové zariadenie (FTD)	18
3.1.3. Trenažér letových a navigačných postupov (FNPT).....	19
3.1.4. Základné prístrojové zariadenie (BITD).....	19
3.1.5. Iné výcvikové zariadenie (OTD).....	20
3.2. Typy simulátorov podľa predpisov FAA	21
3.2.1. Letový simulátor (FFS)	21
3.2.2. Letové výcvikové zariadenie (FTD)	21
3.2.3. B Základné prístrojové tréningové zariadenie (BATD).....	22
4. VYUŽITIE SIMULÁTORA V LETECKOM VÝCVIKU	23
4.1. Využitelnosť FSTD vo výcviku pilotov.....	23
5. ROZBOR POŽIADAVIEK PODLA PREDPISOV EASA/FAA PRE CERTIFIKÁCIU SIMULÁTORA.....	25
6. Voľba simulátora.....	27
6.1. Voľba typu simulátora podľa EASA/FAA.....	27
6.2. Virtuálne rozhranie simulátoru - X-Plane 11.....	27
6.2.1. Program Plane Maker.....	27
6.3. Model letúnu v programe X-Plane 11.....	28
6.3.1. X-Plane model vs. Letún SportCruiser	29
6.4. Prvý prototyp ovládacieho zariadenia	30
6.4.1. Popis použitej elektroniky	31
6.5. Smerovanie vývoja simulátora	32
7. Požiadavky pre Certifikáciu zvoleného typu simulátora.....	33
8. LETOVÉ MERANIA	36
8.1. Zoznam letových meraní.....	36
9. METODIKA MERANÍ.....	37
9.1. Predmet skúšky	37

9.2.	Konfigurácia	37
9.3.	Vybavenie letúnu	37
9.4.	Priebeh skúšok.....	38
9.4.1.	Motor- decelerácia (FTP-S-01)	38
9.4.1.	Motor- akcelerácia (FTP-S-01).....	38
9.4.1.	Stúpanie (FTP-S-02).....	38
9.4.2.	Dynamika zmeny výkonu (FTP-S-01)	38
9.4.3.	Dynamika zmeny klapky (FTP-S-03)	39
9.4.4.	Pozdĺžne vyváženie (FTP-S-03)	39
9.4.5.	Pádové vlastnosti (FTP-S-03).....	39
9.4.6.	Fugoidálne (pomalé) kmity (FTP-S-04).....	40
9.4.7.	Rýchle kmity Letúnu (FTP-S-04).....	40
9.4.8.	Odozva klonenia (FTP-S-05)	40
9.4.9.	Ovládanie klonenia (FTP-S-05).....	40
9.4.10.	Špirálová stabilita (FTP-S-05) – alternatívny test.....	41
9.4.11.	Odozva smerového kormidla (FTP-S-06)	41
9.4.12.	Dutch roll (FTP-S-06).....	41
9.4.13.	Bočný sklz (FTP-S-06).....	41
10.	PLÁN LETOVÝCH MERANÍ	42
11.	NÁVRH VYHODNOTENIA MERANÍ.....	44
11.1.	Podmienky skúšok.....	45
II.	Prevod na štandardnú hmotnosť	47
III.	Prevod na štandardný moment hybnosti	47
11.2.	LETOVÉ MERANIA FTP-S-01	50
11.3.	Akcelerácia.....	50
11.4.	Decelerácia	51
11.5.	Zmena dynamiky výkonu.....	52
12.	LETOVÉ MERANIA FTP-S-02	55
12.1.	Pílové lety.....	55
12.1.1.	Rozdiely výšok.....	56
12.1.2.	Uhol stúpania.....	56
12.1.3.	Stúpacie rýchlosti.....	57

13. LETOVÉ MERANIA FTP-S-03.....	60
13.1. Vyvážiteľnosť	60
13.2. Pádové rýchlosti.....	61
13.3. Dynamika zmeny klapky	63
13.3.1. Pristávací konfigurácia.....	63
13.3.2. Vzletová konfigurácia	65
13.3.3. Celkové hodnotenie – dynamika zmeny klapky	67
14. LETOVÉ MERANIA FTP-S-04.....	68
14.1. Fugoidálne kmity.....	68
14.2. Rýchle kmity.....	70
15. LETOVÉ MERANIA FTP-S-05.....	71
15.1. Odozva klonenia	71
15.2. Ovládanie klonenia	72
15.3. Špirálová stabilita.....	73
16. LETOVÉ MERANIA FTP-S-06.....	76
16.1. Odozva smerového kormidla	76
16.2. Dutch Roll	77
16.3. Bočný sklz.....	81
17. hodnotenie meraní.....	83
17.1. Zhrnutie navrhovaných úprav.....	84
18. ZÁVER.....	85
Zoznam jednotiek, skratiek a znakov	88
Zoznam príloh	A

1. ÚVOD

Preložená diplomová práca je zameraná na tému letových simulátorov a ich využitie v leteckom výcviku pre výcvik CPL pilotov podľa predpisovej základne EASA/FAA.

Zadáateľom práce je firma Czech Aircraft Group, výrobca malých športových lietadiel SportCruiser a PS-28 Cruiser. Podnetom pre vytvorenie práce je záujem zákazníkov, prevažne leteckých škôl, u zadávateľa po kompaktnom leteckom simulátore uplatniteľnom do maximálnej možnej miery vo výcviku.

V úvode práce je spísaná rešerš typoch simulátorov typu General Aviation (GE) podľa predpisov EASA a FAA. Pre typy simulátorov je popísaná možnosť ich využitia v leteckom výcviku. Pre zvolený typ simulátoru je zapracovaný rozbor požiadaviek na certifikáciu podľa oboch predpisových základní EASA/FAA.

Na základe požiadaviek je vypracovaný letový plán. Podľa navrhovaného letového plánu sú overené základné charakteristiky a letové vlastnosti voľne dostupného modelu PS-28 Cruiser vymodelovaného vo zvolenom virtuálnom rozhraní X-Plane 11, ktorý je k dispozícii v spotrebiteľskej verzii, ako aj v profesionálnej verzii s certifikáciou FAA.

Následne je v praktickej časti práci vypracované spracovanie výsledkov meraní. Spracovanie výsledkov je ukázané ako na meraniach PS-28 Cruiser so sériovým číslom SN C0637 tak na dostupných meraniach simulátora.

Pre každé meranie, ktoré bolo úspešne vykonané ako pre reálny letún tak simulátor je spracované výsledné hodnotenie, ktoré hodnotí model simulátora a doporučuje úpravy modelu tak, aby zodpovedal reálnemu letúnu, jeho letovým vlastnostiam a charakteristikám aby mohol byť model simulátora upravený pre účely ďalšieho vývoja simulátora a jeho prípadnej certifikácie podľa požiadaviek predpisov EASA/FAA.

2. PS-28 CRUISER/ SPORTCRUISER

Zadáateľom práce je firma Czech Aircraft Group, ktorá je výrobcou letúnu PS-28 Cruiser pre Európsky trh a letúnu SportCruiser pre americký trh. Vonkajšia obálka letúnu je až na drobné odlišnosti identická. Modely sa odlišujú predovšetkým vybavením a avionikou.

Táto práce reaguje na záujem zákazníkov – leteckých škôl možnosť využívať letecký simulátor vo výcviku v čo najširšej miere.

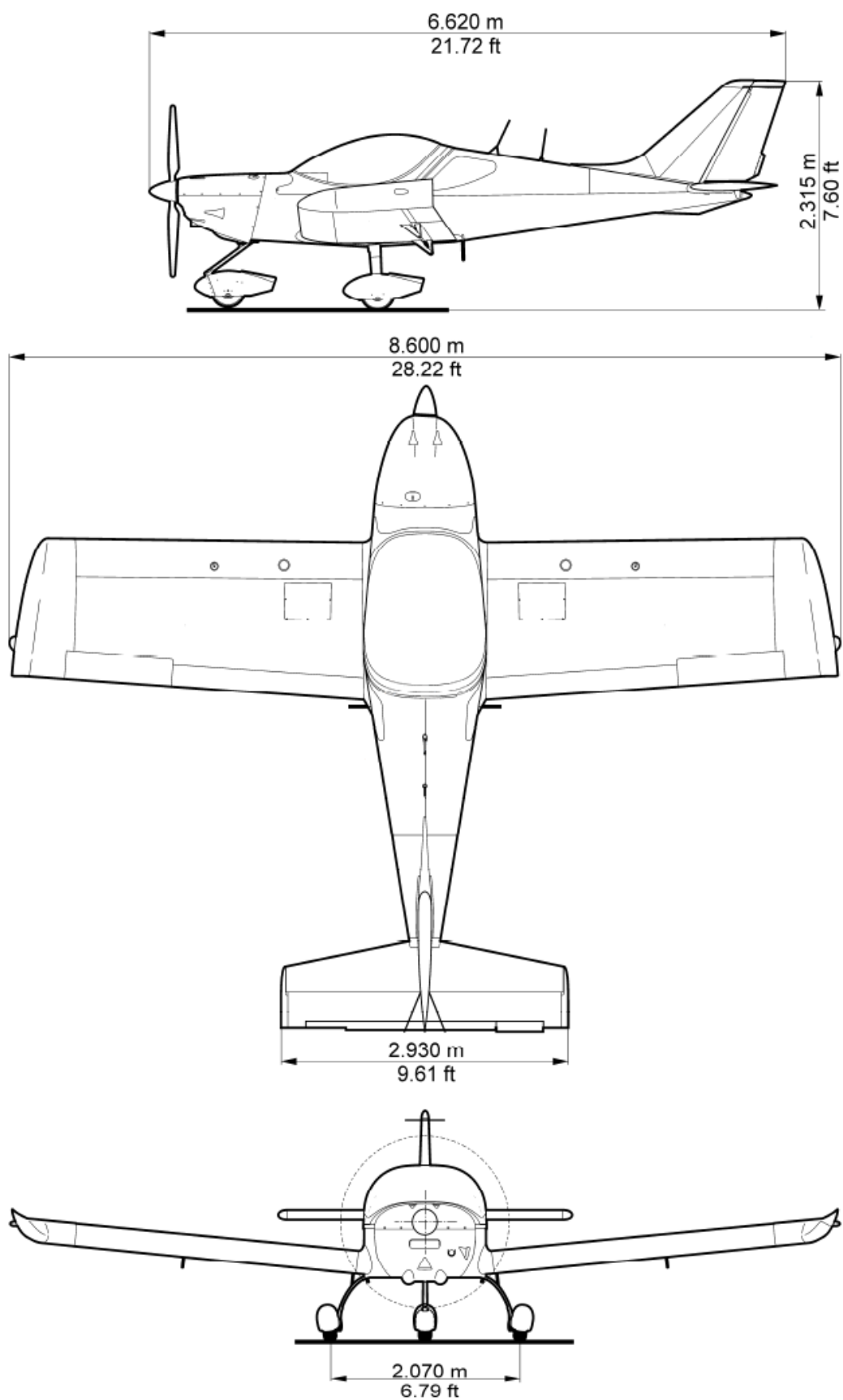
Základné parametre letúnu sú popísané v Tab. 2.1

Tab. 2.1 Parametre zvoleného letúnu

Základné parametre	
Rozpätie letúnu	8,600 m
Dĺžka	6,620 m
Výška	2,315 m
Plocha krídla	12,3 m ²
Maximálna vzletová hmotnosť	600 kg
Počet sedadiel	2
Maximálna hmotnosť pilota	115 kg
Minimálna hmotnosť pilota	55 kg
Batožinový priestor v trupe	18 kg
Batožinový priestor v krídle	10 kg
Kapacita nádrží	82 kg paliva AVGAS
Rozsah prevádzkových centrží	28 – 35 % SAT
Prázdna hmotnosť	386kg $\pm$ 2 %
Rozsah centrží prázdneho letúnu	28,5 – 29,5 % SAT
Motor	
Výrobca	BRP-Powertrain GmbH&Co.KG
Model	912 S2/ ULS2
Maximálny výkon motor	73,5kW pri 5 800 ot./min



Obr. 2.1 PS-28 Cruiser



Obr. 2.2 PS-28 Cruiser/ SportCruiser

3. TYPY SIMULÁTOROV PODLE PREDPISOV EASA/FAA

3.1. Typy simulátorov podľa predpisov EASA

Prepisy EASA delia výcvikové zariadenia na simuláciu letu (FSTD) do niekoľkých kategórií. Tieto kategórie budú popísané ďalej v tejto kapitole. Kapitola je zameraná iba na výcvikové zariadenia pre letúny, kategórie pre helikoptéry nie sú zahrnuté.

Definície zariadení na simuláciu letu boli vypracované na základe [3][4].

3.1.1. Letový simulátor (FFS)

Letový simulátor (Full Flight simulator) ďalej len FSS je označované zariadenie splňujúce nasledujúce predpoklady:

- Presná kópia pilotnej kabíny konkrétneho typu/značky modelu a série lietadla
- Úplná zostava zariadení a počítačových programov potrebných na znázornenie lietadla pri činnosti na zemi a počas letu
- Vizualný systém poskytujúci výhľad z pilotnej kabíny
- Systém simulujúci pôsobenie síl pri pohybe

FSS sa podľa predpisov EASA delí na štyri úrovne:

- **FSS A** – technicky najnižšia úroveň FSS
- **FSS B**
- **FSS C**
- **FSS D** – technicky najvyššia úroveň FSS



Obr. 3.1 FSS vonkajšia konštrukcia [6]



Obr. 3.2 FSS kokpit [6]

3.1.2. Letové výcvikové zariadenie (FTD)

Letové výcvikové zariadenie (Flight Training Device) ďalej len FTD je označované zariadenie splňujúce nasledujúce predpoklady:

- Presná kópia prístrojov, vybavenia, panelov a ovládacích prvkov riadenia konkrétneho typu lietadla v otvorenej alebo uzavretej pilotnej kabíne
- Úplná zostava zariadení a počítačových programov potrebných na znázornenie lietadla pri činnosti na zemi a počas letu v rozsahu systémov inštalovaných v zariadení
- Nevyžaduje si systém simulujúci pôsobenie síl pri pohybe alebo vizuálny systém

FTD sa podľa predpisov EASA delí na dve úrovne:

- **FTD I**
 - FTD tejto úrovne je technicky jednoduchšie
 - Letún musí mať aspoň jeden plne zastúpený systém, výber si určuje organizácia, ktorá za schválenia zariadenia zodpovedá
 - Kabína môže byť zatvorená aj otvorená
 - Simulovaný systém vyhovuje skúškam pre daný typ letúnu
- **FTD II**
 - Plne zastúpené všetky príslušné systémy
 - Pilotná kabína uzavretá
 - Palubná inštruktorská stanica
 - Typovo špecifická alebo obecná dynamika letu
 - Zvuky významné pre let

- Riadenie atmosférických podmienok
- Navigačná databáza



Obr. 3.3 FTD kokpit [6]

3.1.3. Trenažér letových a navigačných postupov (FNPT)

Trenažér letových a navigačných postupov (Flight Navigation Procedures Trainer) ďalej len FNPT je označované výcvikové zariadenie, ktoré predstavuje prostredie pilotnej kabíny alebo pilotného priestoru vrátane zostavy vybavenia a počítačových programov potrebných pre znázornenie lietadla určitého typu/triedy v letových podmienkach v rozsahu zodpovedajúcom tomu ako systémy fungujú v lietadle.

FNPT sa podľa predpisov EASA delí na dve úrovne s nasledujúcimi požiadavkami:

- **FNPT I**
- **FNPT II**

3.1.4. Základné prístrojové zariadenie (BITD)

Základné prístrojové zariadenie (Basic Instrument Training Device) ďalej len BITD znamená výcvikové zariadenie, ktoré predstavuje stanovište žiaka – pilota triedy letúnov. Môžu využívať prístrojové panely zobrazené na obrazovkách a pružinové riadenie, čo predstavuje základ prinajmenšom pre nácvik postupov letu podľa prístrojov.



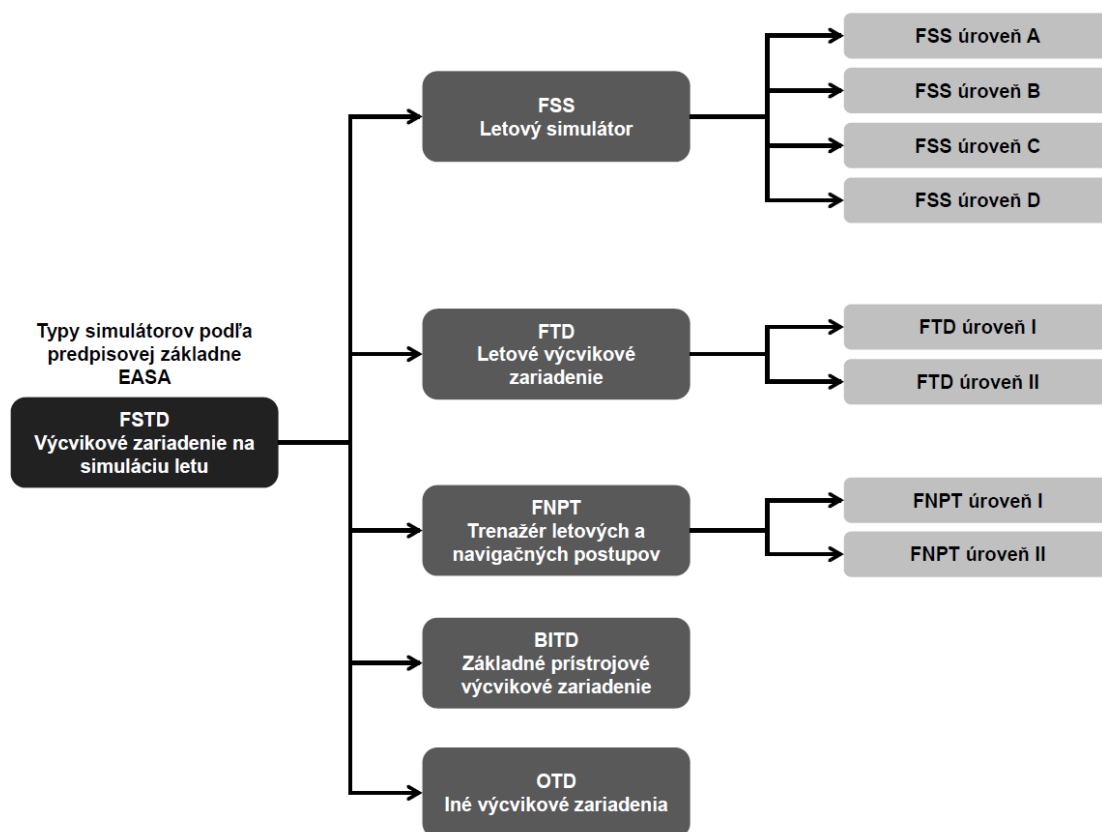
Obr. 3.4 FNPT kokpit [6]

3.1.5. Iné výcvikové zariadenie (OTD)

Iné výcvikové zariadenie (Other Training Device) ďalej len OTD sú výcvikové zariadenia iné ako sú letecké FFS, FTD alebo FNTP, ktoré sú prostriedkami výcviku tam, kde nie je nevyhnutné úplné prostredie pilotnej kabíny.



Obr. 3.5 OTD [6]



Obr. 3.6 Typy simulátorov podľa EASA

3.2. Typy simulátorov podľa predpisov FAA

Typy simulátorov sú podobné v niektorých prípadoch rovnaké ako v predpisoch EASA. Táto podkapitola sa poukazuje na prípadné rozdiely v definíciách typoch simulátoru.

3.2.1. Letový simulátor (FSS)

Predpisová základňa FAA definuje FSS (Full Flight Simulator) rovnako ako predpisová základňa EASA. Jedná sa o teda o vernú kópiu lietadla v plnej veľkosti konkrétneho typu, ktorá reprezentuje letún ako v pozemnej tak aj letovej prevádzke. Má vizuálny systém, ktorý poskytuje výhľad z letovej paluby a umožňuje pohyb aspoň v troch osiach. Definícia a rozdelenie tohto typu je totožná s tým v podkapitole 2.1.1.

3.2.2. Letové výcvikové zariadenie (FTD)

Predpisové základne FAA a EASA sa rozchádzajú práve v definícii simulátoru FTD. Zatiaľ čo predpisy EASA rozdeľujú výcvikové zariadenia na typ FTD a FNPT, každý s ďalšími dvoma úrovňami predpis FAA definuje FTD ako:

Replika leteckých prístrojov, vybavenia, panelov a ovládacích prvkov v otvorenom priestore pilotnej kabíny alebo uzavretá replika letovej paluby lietadla. Zahŕňa vybavenie a počítačové programy potrebné na reprezentáciu prevádzky lietadla v pozemných a letových podmienkach s plným rozsahom schopností systémov nainštalovaných v zariadení a kvalifikačným výkonnostným štandardom pre konkrétnu kvalifikačnú úroveň FTD.

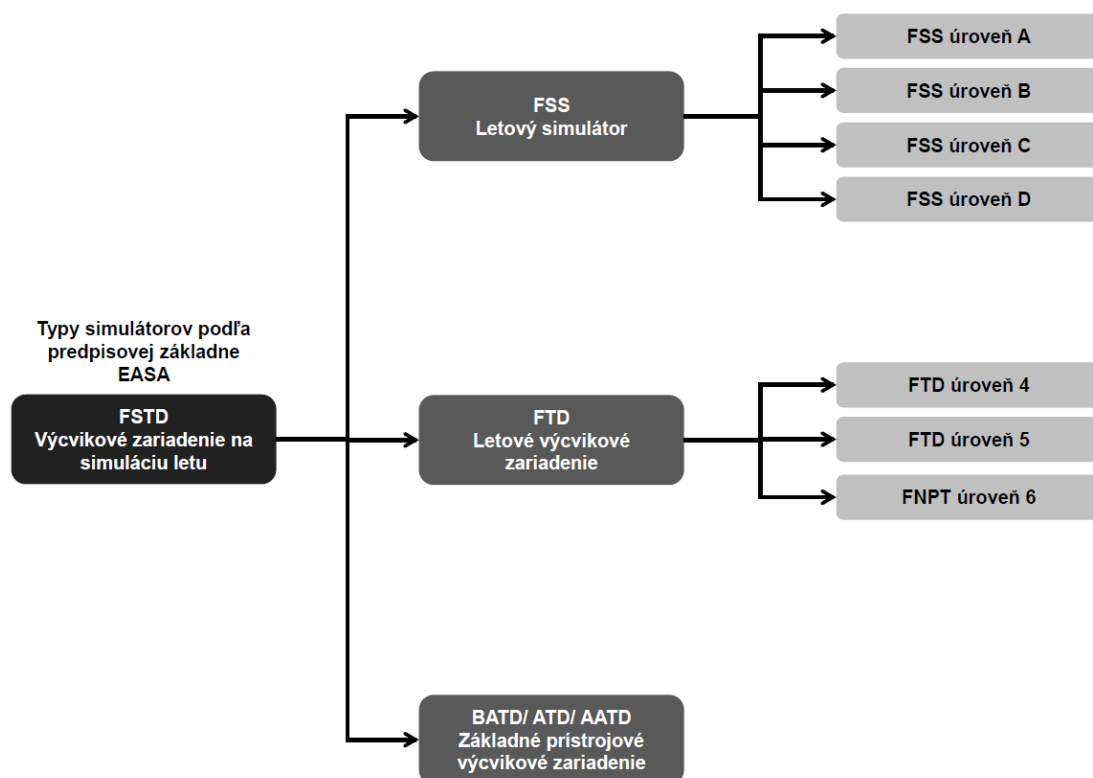
FTD sa podľa predpisov FAA delí na tri úrovne:

- FTD level 4
- FTD level 5
- FTD level 6

3.2.3. B Základné prístrojové tréningové zariadenie (BATD)

Najnižším typom výcvikové zariadenia na simuláciu letu je podľa predpisov FAA simulátor typu BATD (Basic Aviation Training Device). Toto zariadenie patrí na rovnakú úroveň ako simulátor podľa predpisov EASA – BITD.

Výcvikové zariadenia tohto typu môžu mať označenie aj ATD (Aviation Training Device) prípadne AATD (Advanced Aviation Training Device). Líšia sa požiadavkami, ktoré definuje predpisová základňa FAA 14 CFR part 60 [2].



Obr. 3.7 Typy simulátorov podľa FAA

4. VYUŽITIE SIMULÁTORA V LETECKOM VÝCVIKU

Letecký simulátor umelo simuluje let lietadla v rôznych prostrediach a podmienkach. Pre výcvik pilotov sa používajú typy simulátorov uvedených v 2. kapitole, používajú sa predovšetkým na rozšírenie výcviku pre pilotov.

Letecké simulátory majú nasledovné výhody [7]:

- **Bezpečnosť** – FSTD je školiace prostredie navrhnuté tak, aby sa zabránilo bezpečnostným rizikám pre žiakov a inštruktov, je možné robiť chyby a poučiť sa z nich
- **Núdzové postupy** – možnosť rozvíjať komplexnejšie scenáre a trénovať núdzové postupy, nácvik núdzových postupov, rôznych manévrov a letových režimov, ktoré bežne nie sú zahrnuté v letovej príručke
- **Dostupnosť** – dostupnosť bez ohľadu na poveternostné podmienky, zhoršené letové podmienky
- **Ekonomické benefity** – zníženie nákladov pri výcviku, zníženie nákladov za palivo, údržbu, poistenie
- **Environmentálne benefity** – nižšie emisie, nižšia uhlíková stopa

Podľa typu výcvikového zariadenia na simuláciu letu je možné ich využitie vo výcviku pilotov. Prístrojový pozemný čas je možné absolvovať na FSTD. Využitelnosť jednotlivých typov FSTD podľa predpisov EASA [4] vo výcviku je zobrazená v Tab.4.1.

4.1. Využitelnosť FSTD vo výcviku pilotov

Podľa typu výcvikového zariadenia na simuláciu letu je možné ich využitie vo výcviku pilotov. Prístrojový pozemný čas je možné absolvovať na FSTD.

Využitelnosť jednotlivých typov FSTD podľa predpisov EASA [4] vo výcviku je zobrazená v Tab.4.1.

Využitelnosť jednotlivých typov FSTD podľa predpisov FAA [2] vo výcviku je zobrazená v Tab.4.2.

Tab. 4.1 Využitelnost FSTD vo výcviku pilotov podľa **EASA** nariadenie č. 1178/2011[4]

Typ licencie	FSS	FTD I	FTD II	FNPT I	FNPT II	BITD	-
PPL (A)	5	5	5	5	5	5	hod
CPL (A)	5	-	5	5	5	-	hod
CPL (A)/ IR	40	-	40	25	40	-	hod
ATPL (A)	100	-	-	25	25	-	hod

Tab. 4.2 Využitelnost FSTD vo výcviku pilotov podľa **FAA 14 CFR** časť 61 alebo 141 [2][13]

Typ licencie	FSS	FTD	ATD	BATD	-
PPL	2,5	2,5	-	-	hod
CPL (IR)	20	20	20	10	hod
CPL	50	50	-	-	hod
ATPL	100	100	-	-	hod

V Európe aj USA je možné lietať na letúne od firmy CAG výcvik pilotov CPL.

V USA je možné na letúne SportCruiser určeného pre americký trh lietať výcvik CPL(IR), z ktorého je možné vo výcviku na simulátore uplatniť prístrojový čas 20 hodín. Na americký trh bolo predaných približne 400 kusov letúnov SportCruiser, ktoré sa vo veľkej miere využívajú práve na výcvik pilotov.

V Európe s letúnom PS-28 Cruiser je možné lietať výcvik CPL (A) avšak bez letov IR a uplatniť vo výcviku je teda možnosť len 5 hodín na simulátore.

5. ROZBOR POŽIADAVIEK PODLA PREDPISOV EASA/FAA PRE CERTIFIKÁCIU SIMULÁTORA

Obe predpisové základne EASA aj FAA stanovujú v [1] a [2] požiadavky pre daný typ výcvikového zariadenia a stanovujú aj rozsah pozemných a letových skúšok, ktoré je potrebné vykonať na overenie vlastností. Táto kapitola zhŕňa základné požiadavky pre výcvikové zariadenia určené na simuláciu letu.

Požiadavky na výcvikové zariadenia na simuláciu letu sa rozdeľujú:

- **Základné**
 - Pilotná kabína
 - Prístrojová doska
 - Vybavenie
 - Sedadlá
 - Riadenie
- **Pohybový systém**
 - Stupne voľnosti
 - Vibrácie
 - Riadenie
- **Vizuálny systém**
 - Zorné pole
 - Rozlíšenie, jas, kontrast, atď.
- **Zvukový systém**
 - Zvuky motora
 - Počasie (dážď, atď.)
 - Hlasitosť

Tab.5.1 zobrazuje počet požiadaviek a tým aj náročnosť daného typu simulátora podľa predpisov EASA. Tabuľka porovnáva štyri typy výcvikových zariadení doporučené FTD II a FNPT II a pre porovnanie náročnosti vyšší a nižší typ simulátora.

Tab. 5.1 Počet požiadaviek na výcvikové zariadenia podľa EASA

Typ	Základné	Pohybový systém	Vizuálny systém	Zvukový systém	Spolu
FFS	34	7	20	4	65
FTD II	18	0	11	1	30
FNPT II	19	0	4	1	24
BITD	13	0	0	1	14

Skúšky na overenie letového simulátora sa podľa predpisov EASA rozdeľujú:

- **Letové výkony**
- **Riadenie**
- **Pohybový systém**
- **Vizuálny systém**
- **Zvukový systém**

Tab.5.2 zobrazuje počet potrebných testov na overenie daného typu simulátora podľa predpisov EASA.

Tab. 5.2 Počet testov na overenie simulátora

	FSS	FTD II	FNPT II	BITD
Letové výkony				
Pojazd	2	0	0	0
Vzlet	8	1	0	0
Stúpanie	4	3	2	2
Cestovný režim / zostup	5	3	0	0
Zastavovanie	4	0	0	0
Motory	2	2	2	2
Riadenie				
Statické	9	6	5	5
Dynamické	6	0	0	0
Pozdĺžne	11	6	12	8
Bočné smerové	8	4	7	5
Pristátie	9	0	0	0
Pozemné efekt	1	0	0	0
Strih vetra	1	0	0	0
Funkcie ochrany letovej obálky	6	6	0	0
Námraza motoru a draku lietadla	6	0	0	0
Pohybový systém				
-	12	0	0	0
Vizuálny systém				
-	9	2	3	2
Zvukový systém				
-	20	0	0	0
Spolu				
Spolu	123	33	33	24
Z toho testy vzťahujúce sa k letovým vlastnostiam a výkonom overovaným v diplomovej práci	52	23	15	11

Posledný riadok Tab.5.2. zobrazuje počet testov vzťahujúcich sa k letovým vlastnostiam a výkonom. Tieto testy budú ďalej spracované v nasledujúcich kapitolách práce.

6. VOĽBA SIMULÁTORA

6.1. Voľba typu simulátora podľa EASA/FAA

Pre zvolený letún PS-28 Cruiser prípadne SportCruiser bol zvolený typ simulátora podľa predpisovej základne **EASA FNPT II**, čomu najbližšie zodpovedá simulátor typu **FTD 5** podľa predpisovej základne FAA.

S vybraným typom je možné lietať výcvik pilotov licencie CPL(A) ako v Európe tak v USA kde je možné vo výcviku na lietať 5 až 20 hodín.

Vyšší typ výcvikového zariadenia neumožňuje vyšší počet dovolených odlietaných hodín zato požiadavky na takýto typ či už z ekonomického alebo technického hľadiska sú vyššie.

Zvolený typ:

- **EASA :FNPT II**
- **FAA: FTD 5**

6.2. Virtuálne rozhranie simulátoru - X-Plane 11

Vybraným softwarom, použitým pre simulátor je zvolený program X-Plane 11 od spoločnosti Laminar Research. Táto spoločnosť je tvorcom série leteckých simulátorov X-Plane, vrátane X-Plane 11. X-Plane 11 je k dispozícii v spotrebiteľskej verzii, ako aj v profesionálnej verzii s certifikáciou FAA.

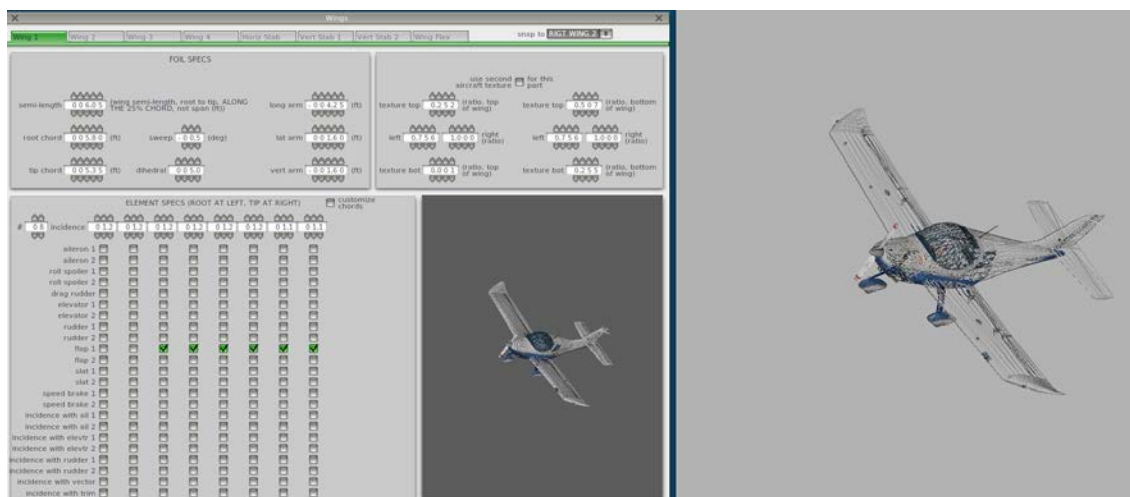
6.2.1. Program Plane Maker

Plane Maker je softvérový program spojený s X-Plane, ktorý sa používa na navrhovanie a úpravu lietadiel simulátoru.

Program X-Plane využíva matematickú metódu "Blade element theory", čo v princípe odpovedá 3D panelovej metóde. Táto metóda bola pôvodne určená k výpočtom a návrhu vrtulí. Myšlienkou tejto teórie je rozklad geometrických častí na elementy a vyhodnocovanie silového pôsobenia na každý z týchto elementov zvlášť rovnako ako iné 3D panelové metódy. [11] [12]

Vstupnými parametrami sú:

- Geometrické parametre
- Výkonové parametre pohonnej jednotky
- Výchylky ovládacích plôch
- Profiláž krídla, chvostových plôch (aerodynamické vlastnosti)
- Avionický systém
- Hmotnosti a centráž



Obr. 6.1 Ukážka zadávania parametrov do programu Plane Maker

6.3. Model letúnu v programe X-Plane 11

Pre účely diplomovej práce a prvého overenia schopnosti a možnosti simulovania letu bol vybraný model letúnu voľne dostupný z [5]. Letún je verne vymodelovaný v mierke 1:1 a spĺňa základné geometrické charakteristiky letúnu PS-28 Cruiser / SportCruiser od spoločnosti CAG.



Obr. 6.2 X.Plane – PS-28Cruiser I



Obr. 6.3 X-plane PS-28Cruiser II

6.3.1. X-Plane model vs. Letún SportCruiser

Nasledujúce Obr.6.2 a Obr.6.3 zobrazujú model letúnu v programe X-plane 11 a reálny letún SportCruiser.



Obr. 6.4 SportCruiser v programe X-plane



Obr. 6.5 SportCruiser [14]

6.4. Prvý prototyp ovládacieho zariadenia

Pre účely overenia funkcií a základných letových vlastností a výkonov bolo pristúpené k výrobe ovládacieho zariadenia simulátora. Toto ovládacie zariadenie simulátora bolo postavené podľa predlohy -opensource [9].

Základné prvky:

- Riadiace páka – pozdĺžne a priečne riadenie
- Riadiace pedále – stranové radenie
- Ovládanie plynu
- Ovládanie klapiek, brzd, zap/vyp motoru

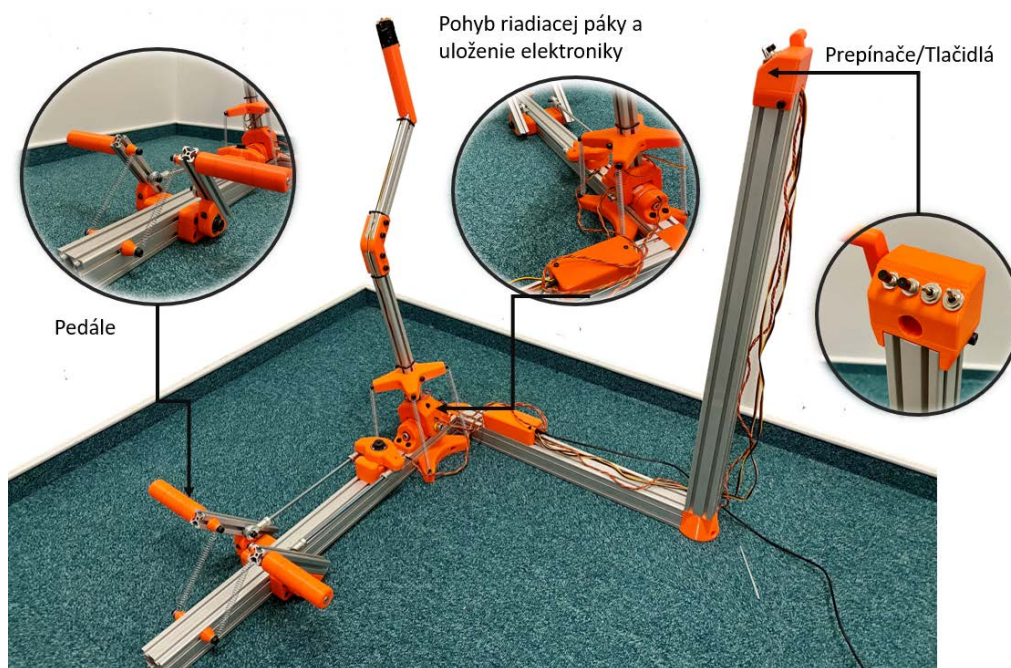
Na nasledujúcom Obr.6.7 je zobrazený vytvorený prvý prototyp simulátora [9]. Hlavné časti boli vytvorené pomocou 3D tlače [10] a sú prepojené hliníkovými profilmi.

Ako riadiaca páka tak pedále umožňujú dosiahnuť plných výchyliek a korešponduje so spôsobom riadenia letúnu PS-28 Cruiser.

Simulátor je možné napojiť na akékoľvek zariadenie (počítač, notebook) pomocou USB a následne ho prepojiť s programom X-Plane 11, kalibráciu je možné previesť priamo v programe.



Obr. 6.6 Ovládanie simulátora – model



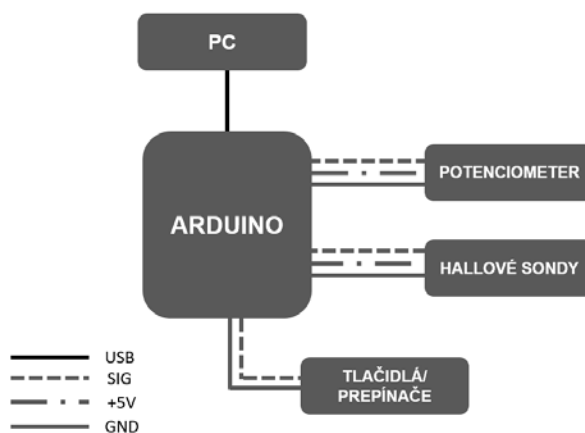
Obr. 6.7 Ovládacie zariadenie - reálny model

6.4.1. Popis použitej elektroniky

Tab.6.1 zobrazuje použitú elektroniku potrebnú na fungovanie DYI simulátora. Na Obr.6.5 je zobrazená schéma zapojenia. Podľa zdroja [9] je odozva riadenia 111ms.

Tab. 6.1 Popis elektroniky

Názov	Počet ks	Popis
Halové sondy	3	Snímajú pozíciu pedálov a riadiacej páky.
Mikrokontroler	1	Zbiera údaje zo senzorov a posiela ich do počítača cez USB.
Potenciometer	1	Sníma polohu ovládania plynu.
Tlačidlá/Prepínače	6	Zmena stavu zo zapnuté na vypnuté a opačne.



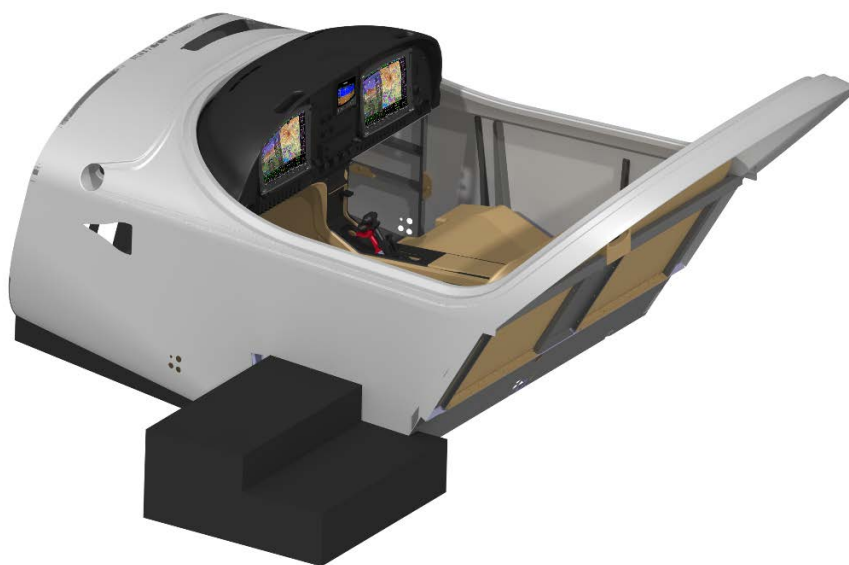
Obr. 6.8 Schéma zapojenia

6.5. Smerovanie vývoja simulátora

Simulátor zvoleného typu podľa predpisových základní EASA a FAA musí spĺňať taktiež požiadavky zamerané na vonkajšiu konštrukciu, zobrazovanie prostredia a iné. Dokončený simulátor letúnu PS-28 Cruiser prípadne SportCruiser je vizualizovaný na Obr.6.9. a Obr.6.10.



Obr. 6.9 Vizualizácia kokpitu FNPT simulátoru PS-28 Cruiser I



Obr. 6.10 Vizualizácia kokpitu FNPT simulátoru PS-28 Cruiser II

7. POŽIADAVKY PRE CERTIFIKÁCIU ZVOLENÉHO TYPU SIMULÁTORA

Cieľom práce je definovať základné požiadavky vzťahujúce sa k letovým vlastnostiam a výkonom. Tab.7.1 zobrazuje tieto požiadavky pre zvolený typ simulátora FNPT II podľa predpisov EASA. Tento typ zodpovedá FTD level 5 podľa predpisov FAA. Požiadavky sú primárne spracované podľa predpisu EASA a doplnené požiadavkami FAA.

Požiadavky k letovým vlastnostiam a výkonom zohľadňujú vybraný letún PS-28 Cruiser a preto požiadavky ďalej nezahŕňajú letové meranie pre dvojmotorové letúny a iné požiadavky, ktoré nie sú adekvátne pre daný typ letúnu.

Tab. 7.1 Požiadavky [1]

Test	Tolerancie	Letové podmienky
1. Výkony		
Stúpanie		
Normálne stúpanie – všetky motory	± 3 kt rýchlosť $\pm 5\%$ alebo ± 0.5 m/s (100 ft/min) stúp.rýchlosť	
Motory		
Akcelerácia	$\pm 10\%$ T_i alebo ± 0.25 s alebo $\pm 10\%$ T_t	priblíženie / pristátie
Decelerácia	$\pm 10\%$ T_i alebo ± 0.25 s alebo $\pm 10\%$ T_t	na zemi
2. Vlastnosti		
Pozdĺžne		
Dynamika zmeny výkonu	± 3 kt rýchlosť ± 30 m (100 ft) tlakovej výšky. $\pm 1.5^\circ$ uhol sklonu alebo $\pm 20\%$ uhol sklonu	priblíženie
Dynamika zmeny klapky	± 3 kt rýchlosť ± 30 m (100 ft) tlakovej výšky. $\pm 1.5^\circ$ uhol sklonu alebo $\pm 20\%$ uhol sklonu	vzlet po zasunutie klapky/ priblíženie, pristátie

Test	Tolerancie	Letové podmienky
Pozdĺžne vyvažovanie	$\pm 2^\circ$ uhol sklonu riadenia (výškové kormidlo, stabilizátor, vyvažovacia ploška) $\pm 2^\circ$ uhol sklonu $\pm 5\%$ výkon	za letu, priblíženie
Priblíženie pádovým vlastnostiam	± 3 kt rýchlosť varovania pred pádom a rýchlosť pádovej $\pm 2.0^\circ$ uhol nábehu varovania pred pádom $\pm 2.0^\circ$ uhol sklonu $\pm 2.0^\circ$ uhol nábehu $\pm 2.0^\circ$ uhol náklonu	druhá polovica stúpania, za letu vo vyšších výškach, priblíženie a pristátie
Fugoidálne kmity	$\pm 10\%$ perióda $\pm 10\%$ čas do polovičnej alebo dvojitej amplitúdy alebo ± 0.02 pomeru tlmenia	za letu
Rýchle kmity	$\pm 1.5^\circ$ uhol sklonu alebo $\pm 2^\circ/\text{s}$ rýchlosť zmeny sklonu ± 0.1 g zrýchlenie	za letu
Bočné smerové		
Odozva klonenia	$\pm 10\%$ zmeny náklonu alebo $\pm 2^\circ/\text{s}$ zmeny náklonu	za letu
Ovládanie klonenia	$\pm 10\%$ uhol náklonu alebo $\pm 2^\circ$ uhol náklonu	priblíženie/ pristátie
Špirálová stabilita	Trend a $\pm 2^\circ$ výchylka krídelka	za letu a priblíženie/ pristátie
Odozva kormidla	$\pm 2^\circ/\text{s}$ rýchlosť zmeny vybočenia alebo $\pm 10\%$ rýchlosť zmeny vybočenia alebo $\pm 10\%$ zmena smeru	priblíženie / pristátie

Test	Tolerancie	Letové podmienky
Dutch roll (Holandský krok)	± 0.5 s alebo ± 10 % perióda ± 10 % čas do polovičnej alebo dvojitej amplitúdy alebo ± 0.02 pomeru tlmenia ± 20 % časový rozdiel alebo ± 1 s časový rozdiel medzi vrcholmi náklonu a bočného sklzu	za letu a priblíženie / pristátie
Bočný sklz	Pre danú pozíciu smerového kormidla $\pm 2^\circ$ uhol náklonu $\pm 1^\circ$ uhol bočného sklzu ± 10 % výchylka krídelka alebo $\pm 2^\circ$ výchylka krídelka	priblíženie / pristátie

8. LETOVÉ MERANIA

Pre overenie certifikačných parametrov bol navrhnutý súbor letových meraní, ktorý obsahuje pozemné a letové skúšky v rozsahu uvedenom nižšie.

8.1. Zoznam letových meraní

Na overenie modelu simulátora je nutné vykonať sériu meraní. Tieto merania budú vykonané na základe požiadaviek uvedených v kapitole 7.

Každý test bude podrobne popísaný v nasledujúcich kapitolách práce.

Tab. 8.1 Zoznam letových meraní

No.	Test	Záznam	Príloha	
Pozemné testy				
			Letún	Simulátor
1	Motor- decelerácia	FTP-S-01	A	G
Letové testy				
2	Motor- akcelerácia	FTP-S-01	A	G
3	Stúpanie	FTP-S-02	B	H
4	Dynamika zmeny výkonu	FTP-S-01	A	G
5	Dynamika zmeny klapky	FTP-S-03	C	I
6	Pozdĺžne vyváženie	FTP-S-03	C	I
7	Pádové vlastnosti	FTP-S-03	C	I
8	Fugoidálne kmity	FTP-S-04	D	J
9	Rýchle kmity	FTP-S-04	D	J
10	Odozva klonenia	FTP-S-05	E	K
11	Ovládanie klopenia	FTP-S-05	E	K
12	Špirálová stabilita	FTP-S-05	E	K
13	Odozva kormidla	FTP-S-06	F	L
14	Dutch Roll	FTP-S-06	F	L
15	Bočný sklz	FTP-S-06	F	L

9. METODIKA MERANÍ

9.1. Predmet skúšky

Predmetom skúšky je overiť letové vlastnosti simulátora a vybraného letúnu PS-28 Cruiser prípadne SportCruiser.

9.2. Konfigurácia

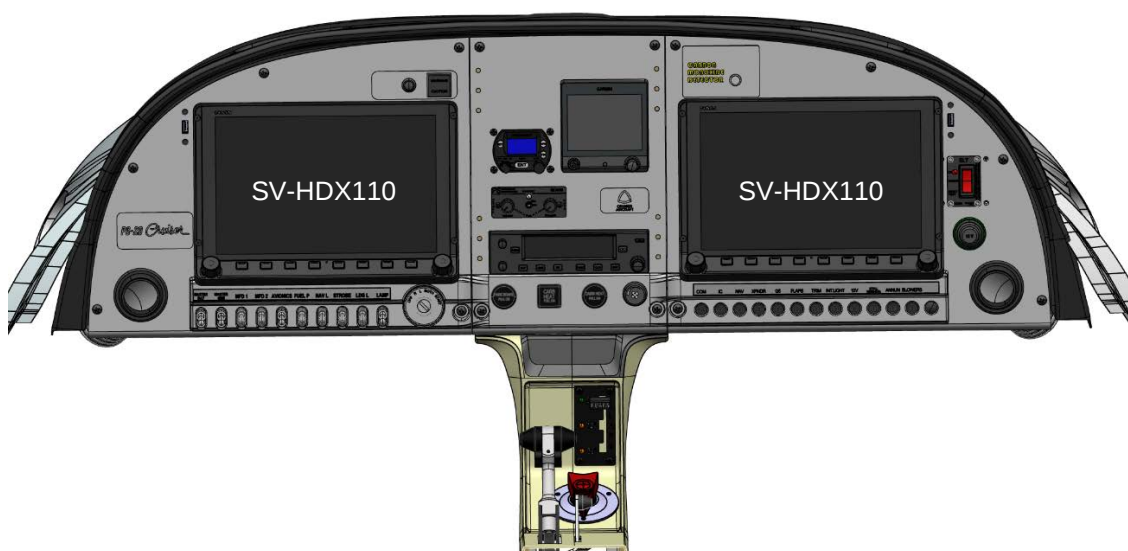
Pre každý typ skúšky bude bližšie zvolená konfigurácia. Typy konfigurácií sú zhrnuté v Tab.9.1.

Tab. 9.1 Konfigurácie

Konfigurácia	Popis
Horizontálny let	pristávacie zariadenia a vztlakové klapky zasunuté
Stúpanie po vzlete	výkon pre vzlet, zasunuté pristávacie zariadenie, vztlakové klapky v polohe pre vzlet
Stúpanie na trati	maximálny trvalý výkon motoru, pristávacie zariadenie zasunuté, vztlakové klapky zasunuté
Klesanie	voľnobeh, pristávacie zariadenie zasunuté, vztlakové klapky zasunuté
Priblíženie	vysunuté pristávacie zariadenie, vztlakové klapky v polohe pre pristátie

9.3. Vybavenie letúnu

Letún je vybavený palubnými prístrojmi. Základné avionické prístroje tvoria prístroje od spoločnosti Dynon Skyview.



Obr. 9.1 Palubná doska letúnu PS-28 Cruiser

9.4. Priebeh skúšok

Metodiky meraní boli vypracované na základe dokumentu [8] a firemným predpisom a štandardom spoločnosti CAG.

9.4.1. Motor- decelerácia (FTP-S-01)

- Zmerať Celkový čas od počiatočného pohybu škrtiacej klapky po 10 % odozvu kritického parametra motora alebo
- Zmerať Celkový čas od počiatočného pohybu plynu po 90% pokles maximálneho vzletového výkonu (otáčky). Graf od maximálneho vzletového výkonu (otáčky) po voľnobeh pre rýchly pohyb plynu.

9.4.1. Motor- akcelerácia (FTP-S-01)

- Meranie uskutočniť pri priblížení (prerušené pristátie)
- Zmerať Celkový čas od počiatočného pohybu škrtiacej klapky po 10 % odozvu kritického parametra motora alebo
- Zmerať celkový čas výkonu motora vo voľnobehu po 90% maximálneho vzletového výkonu.

9.4.1. Stúpanie (FTP-S-02)

Meranie bude uskutočnené metódou Pílových letov.

- Režim letu je ustaľovaným po dobu približne dvoch minút. Po zahájení ustaľovanie letu už pilot výkon pohonnej jednotky ani dopredanú rýchlosť neupravuje.
- Ustálený let – variometer aj rýchlomer na konštantnej hodnote
- Letún bez náklonu a vybočenia
- Meranie uskutočňovať v kludnom ovzduší bez turbulencií a bez vlnového prúdenia vzduchu
- Vystúpať do stanovenej výšky požadovanou rýchlosťou.
- Po vystúpaní do stanovenej výšky znova vyklesať do počiatočnej výšky
- Meranie opakovať – minimálne dva cykly

9.4.2. Dynamika zmeny výkonu (FTP-S-01)

- V skúšanej konfigurácii sa nastaví požadovaný výkon motora pri vodorovnom lete.
- Zmena výkonu z voľnobehu na maximálny trvalý výkon (otáčky).
- Zaznamenať časovú históriu nekontrolovanej odozvy pre časový prírastok najmenej 5 sekúnd pred spustením zmeny výkonu a 15 sekúnd po ukončení zmeny výkonu.

9.4.3. Dynamika zmeny klapky (FTP-S-03)

- Skúšku uskutočniť pri vzlete zaznamenať až po zatiahnutie klapky a pri pristátí zaznamenať od počiatočného vysunutia klapky.
- Zaznamenať časovú históriu nekontrolovanej odozvy pre časový prírastok najmenej 5 sekúnd pred vysunutím/zatiahnutím klapky a 15 sekúnd po vysunutím/zatiahnutím klapky.

9.4.4. Pozdĺžne vyváženie (FTP-S-03)

- V skúšanej konfigurácii sa nastaví požadovaný výkon motoru.
- Pomocou vyťažovacích plošiek sa pilot pokúsi letún na predpísanej rýchlosti vyvážiť v priamočiarom lete tak aby riadiace sily krídeliek smerového a výškového kormidla boli nulové.
- Po ustálení letúnu na skúšanom režime sa odčítajú výchylky vyťažovacích plošiek z palubných indikátorov alebo sa prevedie registrácia.

9.4.5. Pádové vlastnosti (FTP-S-03)

Pretáženie v priamočiarom lete:

- Dosiahnutie bezpečnej výšky letu. Dostatočne malá aby bolo nastaviť požadovaný výkon avšak dostatočne veľká aby bolo možné bezpečne vybrať pád.
- Pozdĺžne, smerové aj priečne vyváženie letúnu danej konfigurácie (klapky, podvozok, výkon motoru) pri rýchlosti $1,5V_{s1}$ resp. V_{s0} .
- Pomalé priťahovanie riadenia výškového kormidla v priamočiarom lete.
- Postupné znižovanie rýchlosti po 1kt/s až do dosiahnutia pádu. Toto tempo je nutné dodržiavať v oblasti 10kt pred pádovou rýchlosťou až do pádu.
- Po dosiahnutí klopivého pohybu použitie výškového riadenia na prechod do normálneho letu.

Pretáženie v zatáčke s náklonom $\pm 30^\circ$:

- Previesť a udržiavať koordinovanú zatáčku s náklonom 30° .
- Znižovanie rýchlosti letu výškovým kormidlom, plynulým znižovaním polomeru zatáčky pokiaľ nedôjde k pádu.
- Pád.
- Opätovné dosiahnutie vodorovného letu normálnym použitím riadenia.

9.4.6. Fugoidálne (pomalé) kmity (FTP-S-04)

- Pred zahájením manévru je nutné letún pozdĺžne, priečne aj stranovo vyvážiť v skúšanej konfigurácii v priamočiarom lete.
- Do pozdĺžneho riadenia je zavedený impulz, páka riadenia je pritiahnutá (potlačená) kým nos letúnu nezdvihne (neklesne) o požadovanú hodnotu (10°).
- Na požadovanej hodnote je letún udržiavaný kým nedosiahne zníženie rýchlosti asi 15 až 20% vyváženej rýchlosti
- Po dosiahnutí požadovaných hodnôt je riadenie uvoľnené.
- Po uvedení letúnu do fugoidálneho kmitania pilot uskutoční minimálne 3 celé cykly kmitania.
- Po dobu fugoidálneho kmitania pilot do riadenia nezasahuje kým sa letún nezrovná v priamočiarom lete.

9.4.7. Rýchle kmity Letúnu (FTP-S-04)

- Pred zahájením manévru je nutné letún pozdĺžne, priečne aj stranovo vyvážiť v skúšanej konfigurácii v priamočiarom lete.
- Zaviesť impulz do výškového kormidla. Plynule striedať pohyby výškového kormidla hore a dolu aby došlo k vybudeniu a posilneniu rýchlych kmitov.
- Pokračovať v cyklickom pulzovaní výškovým kormidlom pokiaľ nebude dosiahnutá požadovaná veľkosť oscilačného pohybu.
- Vrátiť páku riadenia kormidla do vyváženej polohy a zaistiť.
- Osciláciu sledovať minimálne 90 sekúnd.

9.4.8. Odozva klonenia (FTP-S-05)

- Meranie začína vyvážením letúnu v priamočiarom lete, v skúšanej konfigurácii. Behom uskutočňovania manévru sa letún nevyvažuje.
- Po ustálení letúnu pre predpísanej rýchlosti sa skokovo vychýli páka riadenia asi na $1/3$ maximálnej výchylky krídeliek vpravo (vľavo). Riadením výškového kormidla sa udržiava predpísaná rýchlosť letu. Pri manévri je dovolené použiť aj výchylku smerovky tak, aby bolo pri manévri minimálne vybočenie letúnu.
- Po dosiahnutí priečného náklonu 30° vpravo (vľavo) sa pomocou riadenia krídeliek klonenie letúnu zastaví, letún sa ustáli na predpísanej rýchlosti v koordinovanej zatáčke vpravo (vľavo) s náklonom 30° .

9.4.9. Ovládanie klonenia (FTP-S-05)

- Meranie začína vyvážením letúnu v priamočiarom lete, v skúšanej konfigurácii. Behom uskutočňovania manévru sa letún nevyvažuje.

- Po ustálení letúnu pre predpísanej rýchlosti sa skokovo vychýli páka riadenia asi na 1/3 maximálnej výchylky krídeliek vpravo.
- Približne pri 20° až 30° uhlu náklonu vrátiť riadenie klonenia do neutrálnej polohy.
- Umožniť aspoň 10 sekúnd voľnú odozvu lietadla.
- Zopakovať pre výchylku krídeliek vľavo.

9.4.10. Špirálová stabilita (FTP-S-05) – alternatívny test

- Predpis EASA CS-FSTD [1] umožňuje zalietat' túto úlohu alternatívou ako 360° zatáčku s náklonom 30°.
- Meranie začína vyvážením letúnu v priamočiarom lete, v skúšanej konfigurácii. Behom uskutočňovania manévru sa letún nevyvažuje.
- Uviesť letún do zatáčky vpravo o 360°. Udržovať náklon 30°.
- Opakovať pre zatáčku vľavo.

9.4.11. Odozva smerového kormidla (FTP-S-06)

- Meranie začína vyvážením letúnu v priamočiarom lete, v zvolenej konfigurácii. Behom uskutočňovania manévru sa letún nevyvažuje.
- Po ustálení letúnu pre predpísanej rýchlosti sa skokovo vychýli pedál s riadenia asi na 1/3 maximálnej výchylky smerového kormidla.
- Vrátiť riadenie klonenia do neutrálnej polohy.
- Umožniť aspoň voľnú odozvu lietadla.
- Zopakovať pre výchylku smerového kormidla vľavo.
- Opakovať meranie aj pre plné výchylky

9.4.12. Dutch roll (FTP-S-06)

- Pred zahájením manévru je nutné letún pozdĺžne, priečne aj stranovo vyvážiť v skúšanej konfigurácii v priamočiarom lete.
- Zaviesť impulz do smerového kormidla. Plynule striedať pohyby smerového kormidla vľavo a vpravo aby došlo k vybudeniu a posilneniu dutch roll.
- Pokračovať v cyklickom pulzovaní smerovým kormidlom pokiaľ nebude dosiahnutá požadovaná veľkosť oscilačného pohybu.
- Vrátiť pedále smerového kormidla do vyváženej polohy a zaistiť.
- Osciláciu sledovať minimálne 90 sekúnd.

9.4.13. Bočný sklz (FTP-S-06)

- Manéver je vykonávaný pri priblížení na pristátie alebo pri pristáti. Letún zrovnáme na pravú/ ľavú stranu pristávacej dráhy.
- Snaha zrovnat' letún so stredom dráhy. Zaviesť impulz do krídeliek tak aby sa letún zrovnal so stredom dráhy.
- Opačným vychýlením smerového kormidla ako krídeliek je snaha upraviť pristátie.

10. PLÁN LETOVÝCH MERANÍ

Plán letových meraní je zobrazený v Tab.10.1. Pre každú letovú úlohu je určený cieľ, priebeh merania, ktorý je detailne popísaný v kapitole 6. tejto práce, ďalej je popísaná konfigurácia (detail konfigurácie vid'. Tab.6.1), rýchlosť a výška letu. Záznamy pre letové merania sú vložené v prílohe tohto dokumentu.

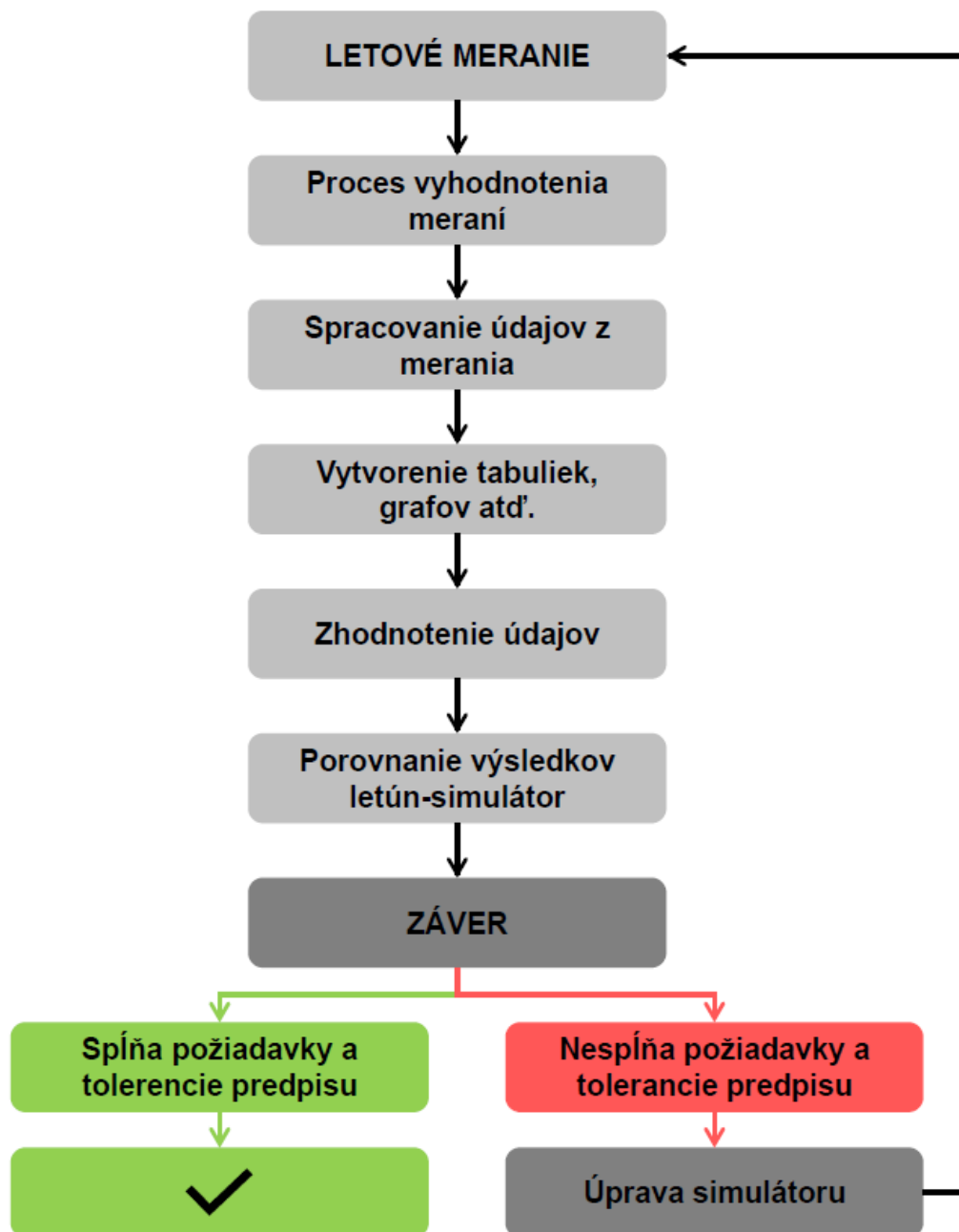
Tab. 10.1 Plán letových meraní

No.	Úloha	Cieľ	Priebeh letu (para)	Konfigurácia (Tab.6.1)	Rychlosť [KIAS]	Výška [ft]
1	Motor-decelerácia	-stanovenie času T_t	6.4.1	pozemná skúška	-	-
2	Motor-akcelerácia	- stanovenie času T_t	6.4.2	priblíženie	60	-
3	Stúpanie	-určenie stúpacích rýchlostí	6.4.3	stúpanie na trati	55 65 75 85 95	1500 2500
4	Dynamika zmeny výkonu	- správanie letúnu pri zmene výkonu	6.4.4	priblíženie	60	-
5	Dynamika zmeny klapky	-správanie letúnu s vysunutou klapkou	6.4.5	stúpanie po vzlete	-	-
6	Pozdĺžne vyváženie	- určenie vlastnosti vyváženého letúnu	6.4.6	horizontálny let	76 60	3000
7	Pádové vlastnosti	-stanovenie pádových rýchlostí - rýchlosť varovania pred pádom	6.4.7	horizontálny let	62 59 53	3000
8	Fugoidálne kmity	-perióda kmitania	6.4.8	horizontálny let	75	3000
9	Rýchle kmity	-perióda kmitania	6.4.9	horizontálny let	75	3000

No.	Úloha	Cieľ	Priebeh letu (para)	Konfigurácia (Tab.6.1)	Rýchlosť [KIAS]	Výška [ft]
10	Odozva klonenia	- určenie periódy a vlastnosti letúnu pri klonení	6.4.10	horizontálny let	75	3000
11	Ovládanie klonenia	- určiť vlastnosti letúnu pri výchylke ovládacích plôch	6.4.11	horizontálny let	75	3000
12	Špirálová stabilita	-vlastnosti letúnu pri zatáčke min. 30°	6.4.12	horizontálny let	75	3000
13	Odozva kormidla	- určiť vlastnosti letúnu pri výchylke ovládacích plôch	6.4.13	horizontálny let	75	3000
14	Dutch Roll	-určenie vlastností letúnu pri manévri Dutch Roll	6.4.14	horizontálny let	75	3000
15	Bočný sklz	-určenie vlastností letúnu pri bočnom sklze	6.4.15	priblíženie	60	-

11. NÁVRH VYHODNOTENIA MERANÍ

Zobecnený postup vyhodnotenia meraní je zobrazený na Obr. 11.1. Letové merania sú vyhodnotené zo záznamu jednotky Dynon Skyview, ktorou je letún PS-28 Cruiser vybavený. Dáta sú následne spracované a porovnané ako pre letún tak simulátor.



Obr. 11.1 Obecný postup vyhodnotenia výsledkov

11.1. Podmienky skúšok

Aby bolo možné porovnávať hodnoty namerané v reálnom letúne a na simulátore, niektoré hodnoty musia byť prepočítané. Základné prepočty [15], ktoré budú využívané pri vyhodnocovaní sú zobrazené v tejto podkapitole.

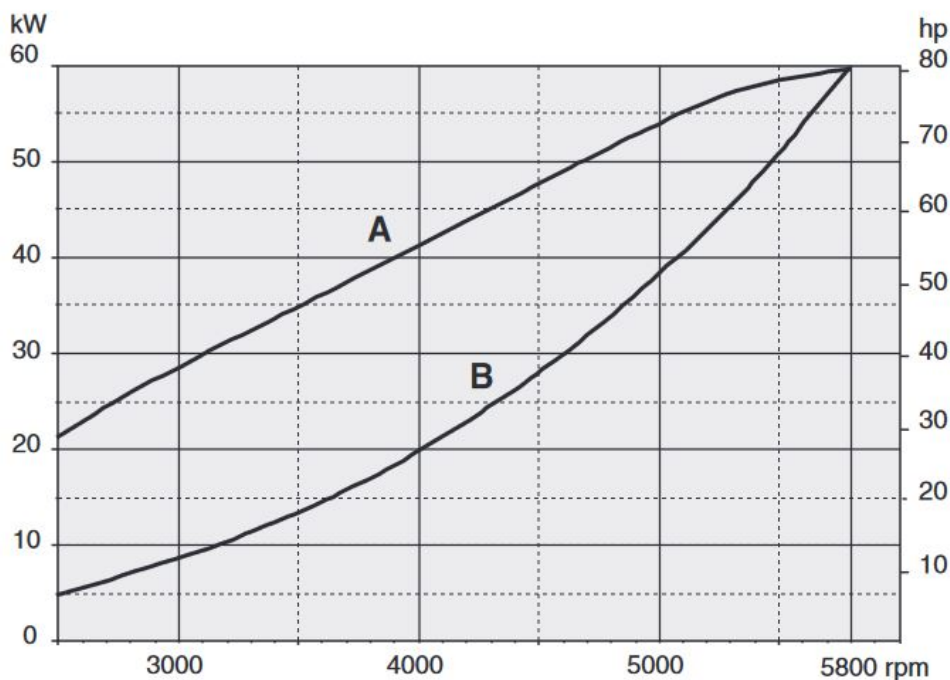
I. Zjednotenie parametrov letúnu a simulátora

Letové merania vykonáva na simulátore sú nastavené podľa meraní uskutočnených na reálnom letúne. Nasledujúce parametre sú nastavené rovnako pre letún aj simulátor:

- Vzletová hmotnosť letúnu
- Centráž
- Rozloženie hmoty
- Rovnaké letisko vzletu/ pristátia (rovnaký tlak vzduchu, rovnaká nadmorská výška)

II. Prepočet otáčok motoru na výkon motoru

Tento prevod je uskutočnený podľa manuálu motoru Rotax 912 [15] a príslušný graf je zobrazený na Obr.11.2.



Obr. 11.2 Prepočet otáčok RPM na výkon kW [15]

Priebeh štandardného výkonu na otáčkach motoru sa riadi rovnicou:

$$P_{stand} = 1,64 \cdot 10^{-20} \cdot RPM^6 - 4,65 \cdot 10^{-16} \cdot RPM^5 + 4,80 \cdot 10^{-12} \cdot RPM^4 - 2,35 \cdot 10^{-8} \cdot RPM^3 + 5,62 \cdot 10^{-5} \cdot RPM^2 - 4,35 \cdot RPM \quad [kW] \quad (11.1)$$

Graf je vykreslený pre podmienky Medzinárodnej štandardnej atmosféry ďalej MSA. Preto je nutné použiť nasledujúci vzťah:

$$P_{stand} = P_{akt} \cdot \frac{T_{akt}}{T_{MSA}} \quad [W] \quad (11.2)$$

Kde

- T_{akt} – Aktuálna teplota vzduchu
- T_0 – Teplota vzduchu na nulovej hladine MSA
- P_{akt} – Výkon motoru aktuálny
- P_{stand} – Výkon motoru vztiahnutý k MSA

I. Prevod na MSA

Aby bolo možné porovnávať namerané dáta je potrebné niektoré previesť na hodnoty MSA. Potrebné vzťahy, ktoré budú pri vyhodnocovaní použité sú uvedené v podkapitole 11.2.

Pre podmienky štandardnej atmosféry pri výške letu $H = 0 \text{ m}$ platí:

Tlak vzduchu

$$p_0 = 1013,15 \text{ hPa}$$

Hustota vzduchu

$$\rho_0 = 1,225 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Teplota vzduchu

$$T_0 = 15^\circ\text{C} = 288,15 \text{ K}$$

Model MSA predpokladá že hodnota teplota vzduchu klesá o $6,5^\circ\text{C}$ na každých 1000 m potom teda platí:

$$T_{MSA} = T_0 - 0,0065 \cdot H \quad [K] \quad (11.3)$$

Kde

- H – Výška letu

Model klesajúcej teploty vzduchu platí do výšky 11 km . Keďže dostup letúnu PS-28 Cruiser je podľa dokumentu [POH] 4 600 m model vývoja teploty vo výške vyššej než 11 km je nepotrebný.

Následne pre tlak vzduchu podľa MSA platí:

$$p_{MSA} = p_0 \cdot \left(1 - \frac{0,0065 \cdot H}{T_0}\right)^{5,256} \quad [Pa] \quad (11.4)$$

Pre hustotu vzduchu podľa MSA platí

$$\rho_{MSA} = \rho_0 \cdot \left(1 - \frac{0,0065 \cdot H}{T_0}\right)^{4,256} \quad [kg \cdot m^{-3}] \quad (11.5)$$

II. Prevod na štandardnú hmotnosť

Pretože počas letu letún stráca palivo, letúnu klesá jeho hmotnosť.

Rýchlosť letu prípadne (stúpaciu rýchlosť) je nutné prepočítať na štandardnú hmotnosť a to nasledovne:

$$v_t = v_s \sqrt{\frac{m_t}{m_s}} \quad [ms^{-1}] \quad (11.6)$$

Kde

- m_s – Skutočná hmotnosť letúnu
- v_s – Skutočná rýchlosť letu
- m_t – 600 kg (Štandardná hmotnosť letúnu)
- v_t – Štandardná rýchlosť letu

Štandardná hmotnosť je zvolená ako

$$m_t = 600 \text{ kg}$$

III. Prevod na štandardný moment hybnosti

Pretože počas letu letún stráca palivo, letúnu klesá jeho hmotnosť. Rýchlosť rotácie je nutné prepočítať na štandardnú hmotnosť a to nasledovne:

$$\omega_t = \omega_s \frac{J_s}{J_t} \quad [rad/s] \quad (11.7)$$

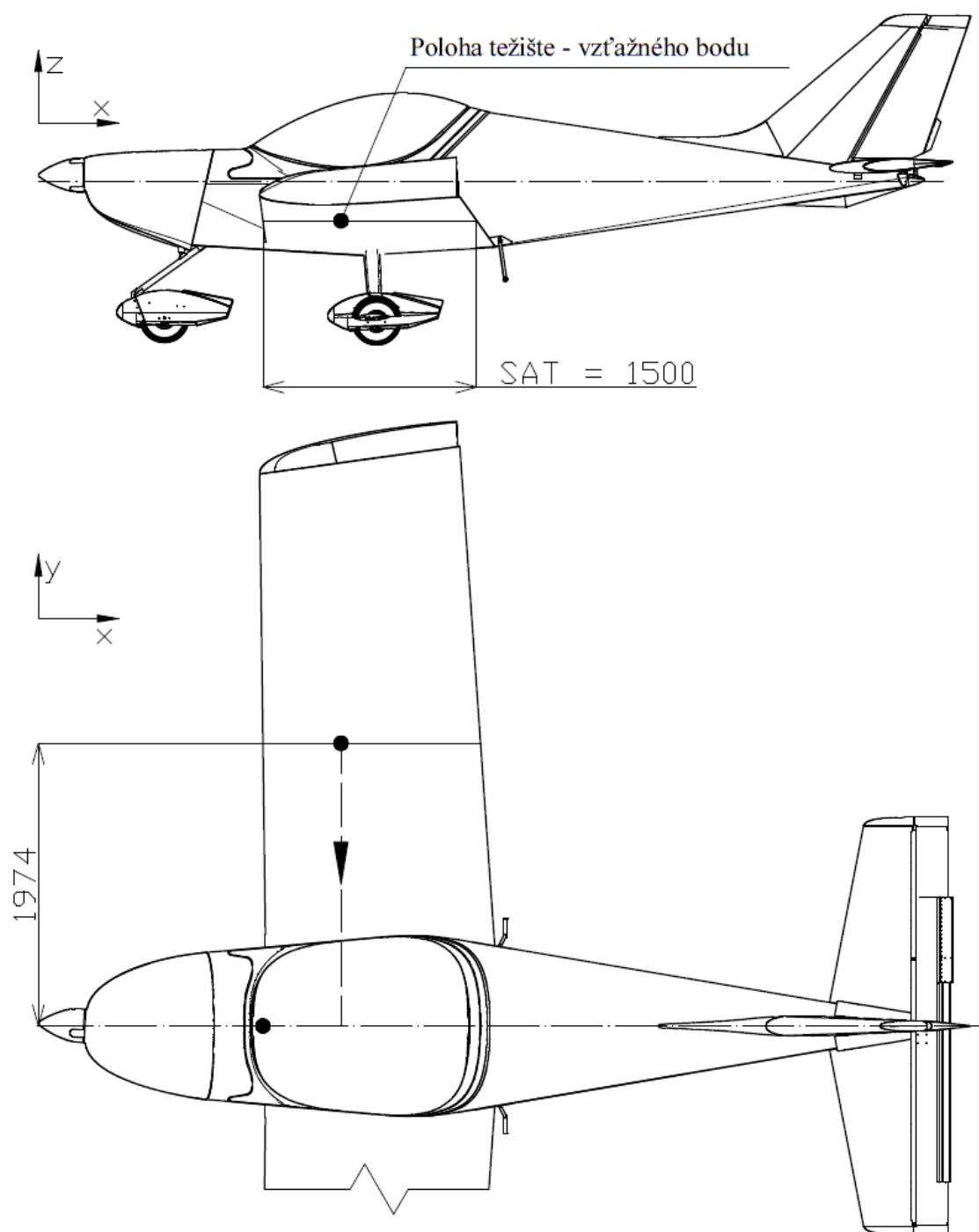
Kde

- J_s – Skutočný moment zotrvačnosti letúnu
- ω_s – Skutočná rýchlosť rotácie
- J_t – Štandardný moment zotrvačnosti letúnu
- ω_t – Štandardná rýchlosť rotácie

Štandardný moment zotrvačnosti je zvolený ako

$$\begin{aligned} J_{txx} &= 359,9 \text{ kg} \cdot m^2 \\ J_{tyy} &= 895,8 \text{ kg} \cdot m^2 \\ J_{tzz} &= 593,3 \text{ kg} \cdot m^2 \end{aligned}$$

Pričom súradnicový systém je definovaný na Obr.11.3 a poloha ťažiska (vzťažného bodu) odpovedá testovanému letúnu.



Obr. 11.3 Súradnicový systém

IV. Tolerancie

Požiadavky predpisu vymedzujú pre každé meranie tolerancie. Tieto tolerancie sú uvedené v Tab.7.1 v kapitole 7. tejto práce. Pre niektoré hodnoty stanovuje predpis viac alternatív tolerancii. Predpis však umožňuje zvoliť toleranciu, ktorá je väčšia a umožňuje väčší rozhas nameraných hodnôt. Pri vyhodnocovaní sú použité práve tieto tolerancie.

V. Vykresľovanie grafov

Pri spracovaní výsledkov je snaha o uniformitu grafov. Tab.11.1 zobrazuje základný popis grafov, ktorý je snaha dodržať pri spracovávaní.

	Označenie	Popis
Letún SN C0637		Označuje priebeh merania prípadne nameranú hodnotu na reálnom letúne PS-28 Cruiser.
Simulátor		Označuje priebeh merania prípadne nameranú hodnotu na prvom prototype simulátora zobrazeného v kapitole 6.
Tolerancie		Označenie tolerancii, ktoré sú uvedené v predpise.
Ostatné	-	Iné označenia sú vždy popísané v danom grafe.

VI. Hodnotenie

Každá skúška je hodnotená jedným z hodnotením uvedeným v Tab. 11.2. Hodnotenia sa rozdeľujú do troch kategórií - spĺňa požiadavky, nespĺňa požiadavky a opakovať meranie.

Tab. 11.1 Hodnotenie- popis

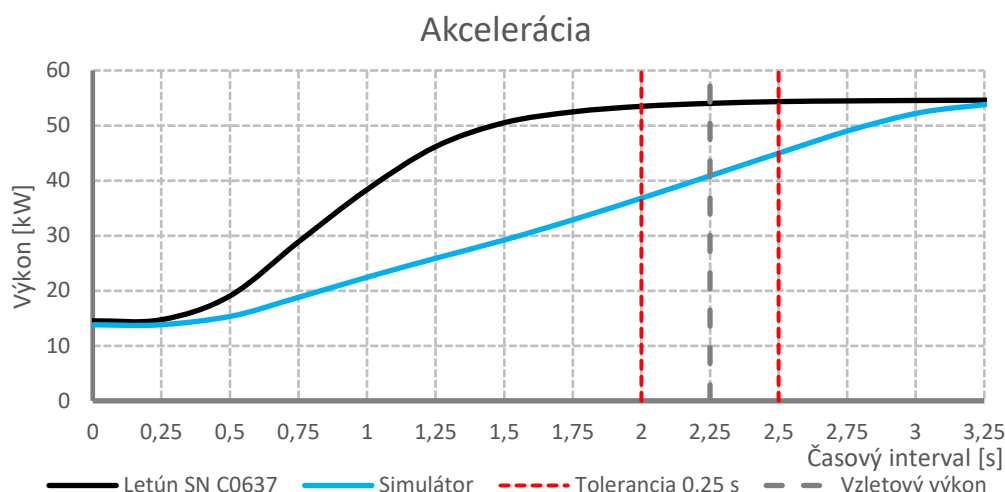
Hodnotenie	Označenie	Popis
Spĺňa požiadavky		Porovnanie je v rámci malých odlišností obdobné s reálnym letúnom spĺňa požiadavky predpisu.
Nespĺňa požiadavky		Výsledky merania nezodpovedajú reálnemu letúnu a nespĺňajú požiadavky predpisu.
Opakovať meranie		Meranie nebolo uskutočnené alebo nie je možné zalieť na danom type simulátora.
Navrhované úpravy		Pre model simulátora sú na základe merania navrhnuté úpravy.

12. LETOVÉ MERANIA FTP-S-01

Pre overenie podobnosti fyzického letúnu so simulátorom bola navrhnutá metodika overená a skúšky zrealizované. Merania boli uskutočnené podľa letového plánu v kapitole 10. Záznam letu je uvedený v prílohe A a prílohe G. Všetky parametre sú hodnotené na štandardných hodnotách.

12.1. Akcelerácia

Graf zobrazujúci priebeh akcelerácie Letúnu so sériovým číslo C0637 a simulátora je zobrazený na Obr.12.1.



Obr. 12.1 Porovnanie - akcelerácia

V Tab. 12.1 je sú zobrazené parametre odčítané z meraní.

Tab. 12.1 Odčítané parametre

Parameter	Letún	Simulátor
Max. vzletový výkon	60 kW	60 kW
Min. výkon	14,53 kW	14,23 kW
90% vzletového výkonu	54 kW	54 kW
Čas akcelerácia	2,25 s	3,25 s

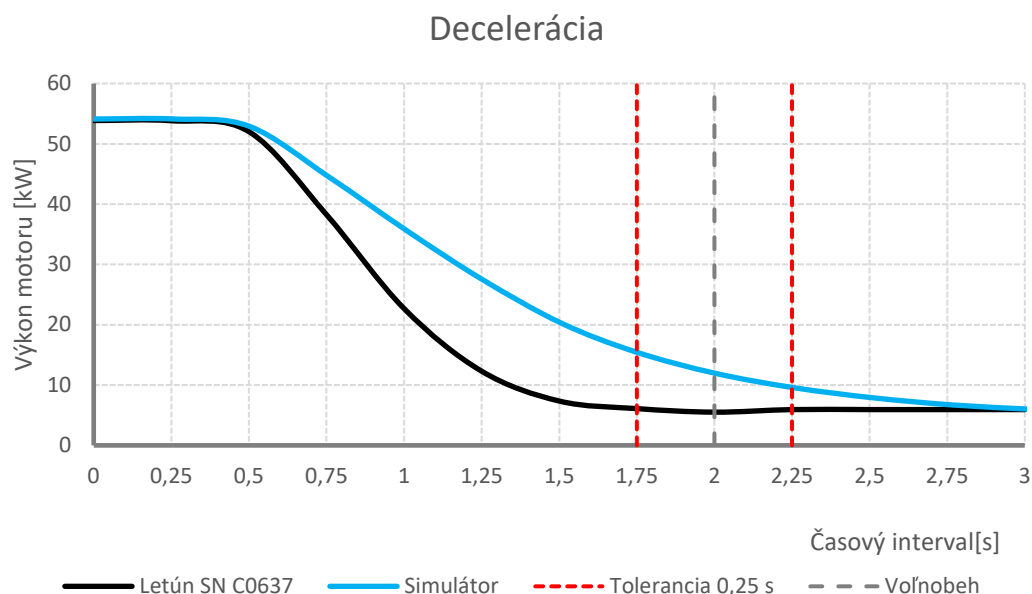
Výsledok skúšky a porovnanie výsledných hodnôt je zobrazené v Tab.12.2.

Tab. 12.2 Výsledné hodnotenie

Kontrolované hodnoty	Prípustná Tolerancia	Letún	Simulátor	Chyba	Hodnotenie
Čas Tt	±0,25s	2,25 s	3,25 s	1 s	nesplňa požiadavky
Celkové hodnotenie					
NESPLŇA POŽIADAVKY					
NAVRHOVANÉ ÚPRAVY					
Maximálny aj minimálny vzletový výkon modelu simulátora je identický ako má letún avšak priebeh je odlišný – v modeli simulátora je nutné upraviť priebeh akcelerácie motoru aby sa zhodoval s nameranými hodnotami.					

12.2. Decelerácia

Graf zobrazujúci priebeh deceleráciu Letúnu so sériovým číslo C0637 a simulátora je zobrazený na Obr.12.2.



Obr. 12.2 Porovnanie - decelerácia

V Tab. 12.3 je sú zobrazené parametre odčítané z meraní.

Tab. 12.3 Odčítané parametre

Parameter	Letún	Simulátor
Max. vzletový výkon	60 kW	60 kW
Min. výkon	6 kW	5,93 kW
90% vzletového výkonu	54 kW	54 kW
Čas akcelerácia	2,25 s	3 s

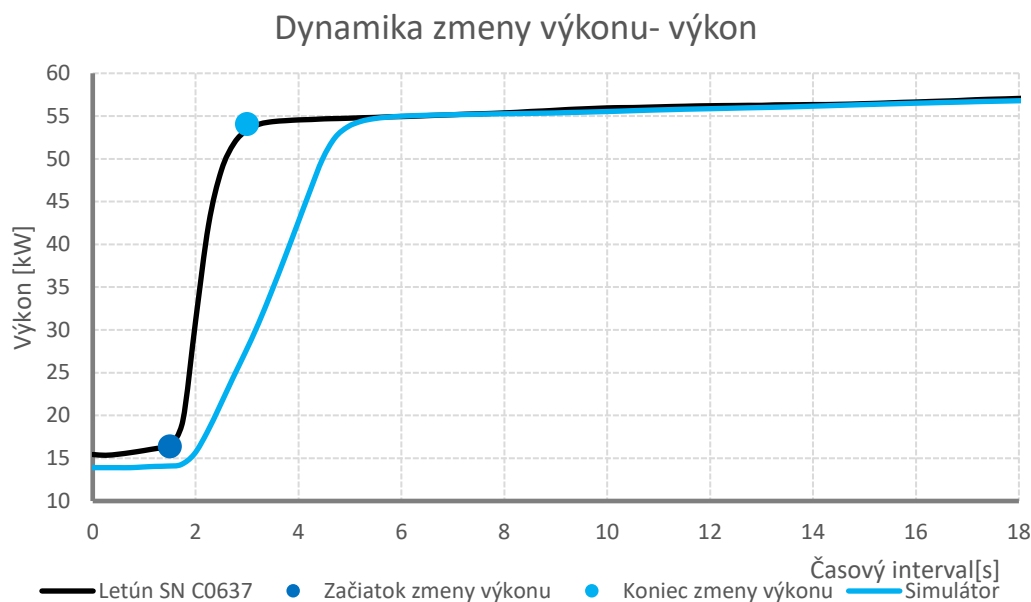
Výsledok skúšky a porovnanie výsledných hodnôt je zobrazené v Tab.12.4.

Tab. 12.4 Výsledné hodnotenie

Kontrolované hodnoty	Prípustná Tolerancia	Letún	Simulátor	Chyba [%]	Hodnotenie
Čas Tt	±0,25s	2,25 s	3 s	0,75 s	nespĺňa požiadavky
Celkové hodnotenie					
NESPLŇA POŽIADAVKY					
NAVRHOVANÉ ÚPRAVY					
Maximálny aj minimálny vzletový výkon modelu simulátora je identický ako má letún avšak priebeh je odlišný – v modeli simulátora je nutné upraviť priebeh decelerácie motoru aby sa zhodoval s nameranými hodnotami.					

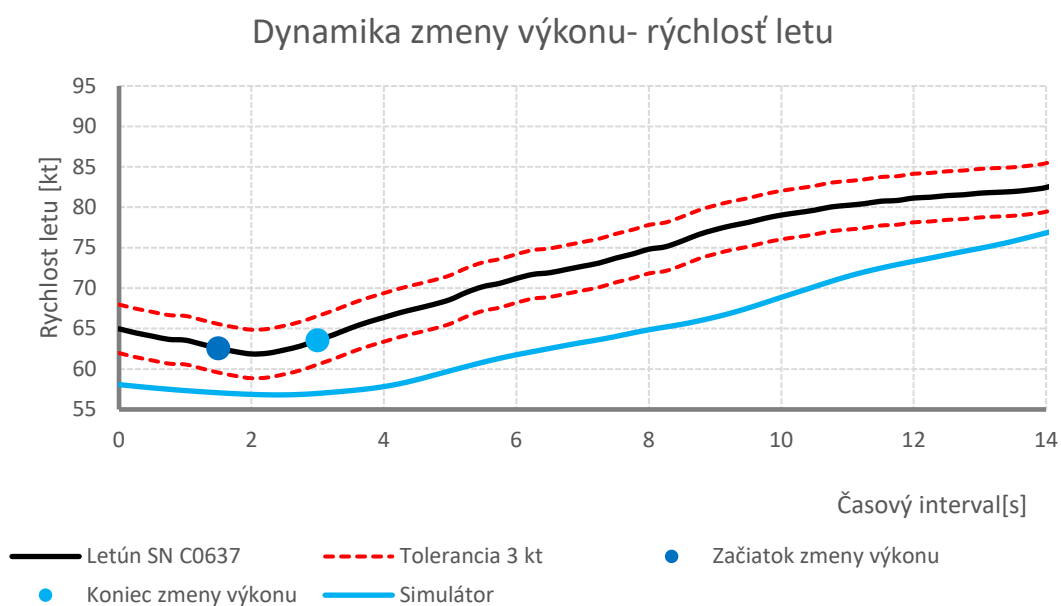
12.3. Zmena dynamiky výkonu

Graf zobrazujúci priebeh zmeny dynamiky výkonu letúnu so sériovým číslom C0637 je zobrazený na Obr.12.3. Príslušné grafy sú zobrazené vždy pre krátky časový interval pred začatím a po skončení zmeny výkonu.



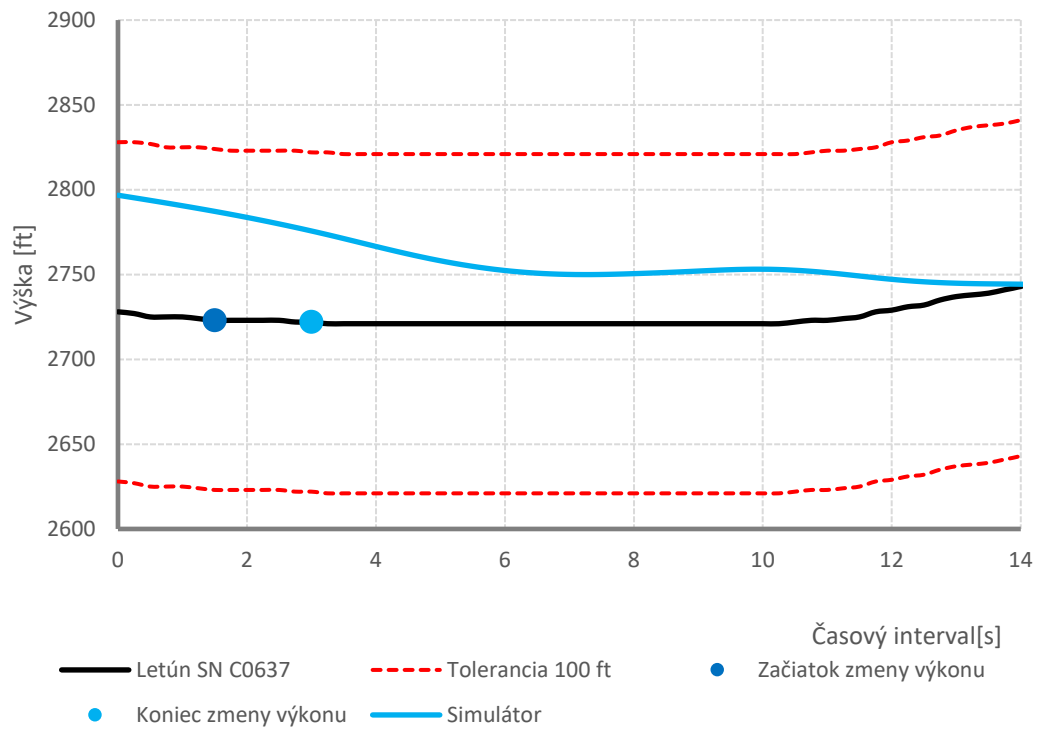
Obr. 12.3 Dynamika zmeny výkonu v čase

Obr. 12.4, Obr.12.5 a Obr.12.6 zobrazujú parametre, ktoré sú podliehajú toleranciam. Patri sem rýchlosť letu, výška a uhol sklonu.



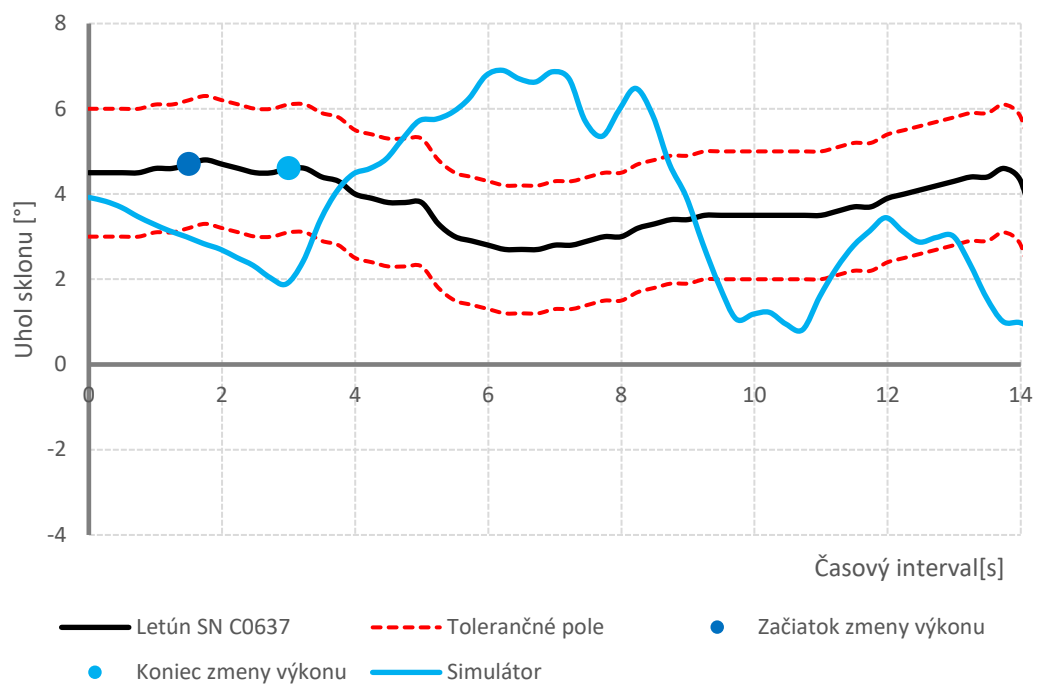
Obr. 12.4 Dynamika zmeny výkonu - rýchlosť

Dynamika zmeny výkonu - výška letu



Obr. 12.5 Dynamika zmeny výkonu - výška

Dynamika zmeny výkonu - uhol sklonu



Obr. 12.6 Dynamika zmeny výkonu- uhol sklonu

V Tab. 12.5 je sú zobrazené parametre odčítané z meraní.

Tab. 12.5 Odčítané parametre - dynamika zmeny výkonu

Parameter	Letún	Simulátor
Tlaková výška letu	min.2721 ft max. 2772 ft	min. 2794 ft max 2738 ft
Uhol sklonu	min. -0,9° max. 4,8°	Min. 0,5° Max. 6,9°
Rýchlosť štand. TAS	min.61 kt max. 82,5 kt	min. 56,3 ft max. 85,3 ft

Výsledok skúšky a porovnanie výsledných hodnôt je zobrazené v Tab.12.6.

Tab. 12.6 Výsledné hodnotenie - dynamika zmeny výkonu

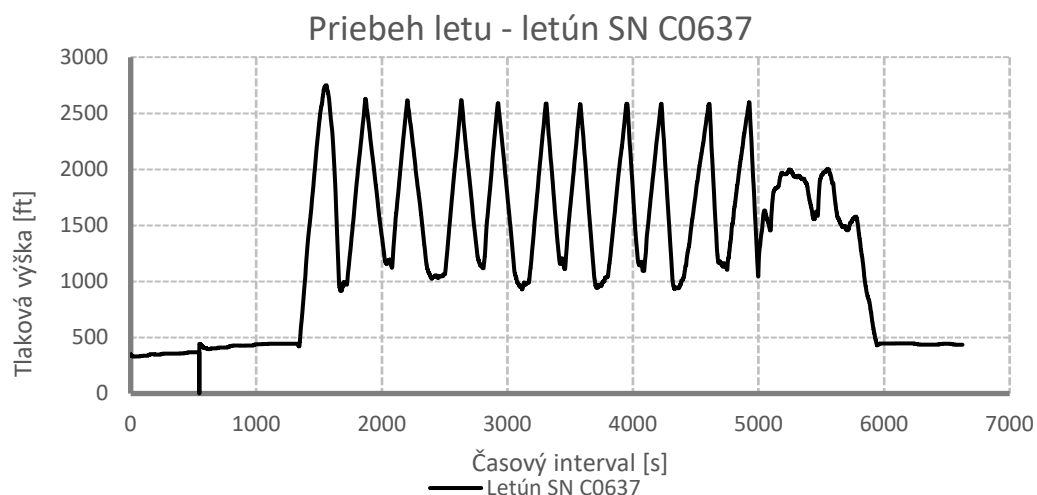
Kontrolované hodnoty	Tol.	Letún	Simulátor	Chyba	Hodnotenie
Rýchlosť	±3kt	Obr. 12.7	Obr. 12.8	-	nesplňa požiadavky
Výška	±100ft	Obr. 12.5	Obr. 12.5	-	spĺňa požiadavky
Uhol sklonu	±20%	Obr. 12.6	Obr. 12.6	-	nesplňa požiadavky
Celkové hodnotenie					
NESPLŇA POŽIADAVKY					
NAVRHOVANÉ ÚPRAVY					
- Pri testoch akcelerácie a decelerácie bolo zistené že model simulátora má iný priebeh zrýchľovania, to sa prejavilo aj pri tejto skúške a zmena výkonu motoru neodpovedá realite. Je nutné zmeniť v modeli simulátoru priebeh zrýchľovania výkonu motora podľa nameraných dát. - Priebeh zrýchľovanie motoru ovplyvňuje aj ďalšie hodnotené parametre tejto skúšky – ako je rýchlosť a uhol sklonu. Výška letu bola z veľkej časti zachovaná a ako jediný parameter spĺňa tolerancie skúšok. - Taktiež fyzické riadenie simulátoru nie je možné plne vyvážiť čo taktiež ovplyvňuje kontrolované parametre a je odporúčaná jeho úprava.					

13. LETOVÉ MERANIA FTP-S-02

Merania boli uskutočnené podľa letového plánu v kapitole 10. Záznam letu je uvedený v prílohe B a prílohe H. Spôsob vyhodnotenia je ukázaný na meraní letúnu so sériovým číslom C0637 pre simulátor je spôsob vyhodnocovania obdobný. Výsledný porovnávaci graf je zobrazený na konci kapitoly 13.1.

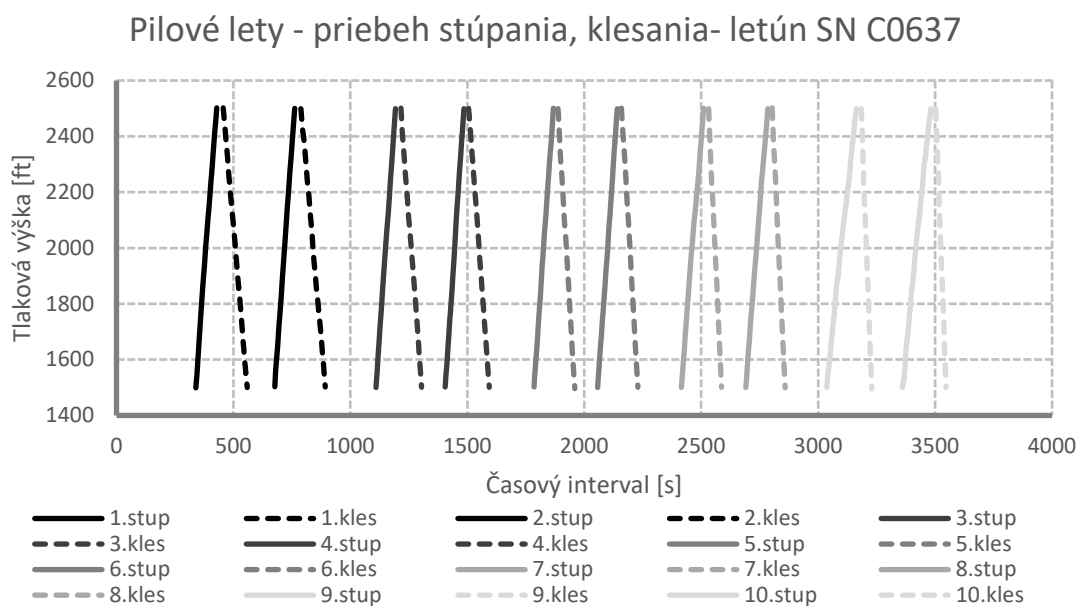
13.1. Pílové lety

Priebeh letu v závislosti na čase je vykreslený na nasledujúcom obrázku Obr.13.1.



Obr. 13.1 Priebeh letu

Ďalší graf zobrazený na Obr.13.2 vymedzuje oblasť tlakových výšok v ktorých je vykonávaná analýza.



Obr. 13.2 Pílové lety- oblasť tlakových výšok

13.1.1. Rozdiely výšok

Rozdiely boli počítané ako

$$\Delta H_p = H_p^{i+1} - H_p^i$$

Pre skutočný rozdiel výšok platí:

$$\Delta H_T = \Delta H_p \cdot \frac{T}{T_{IAS}}$$

Následne pre stúpaciu rýchlosť platí:

$$w_T = \frac{\Delta H_T}{\Delta t}$$

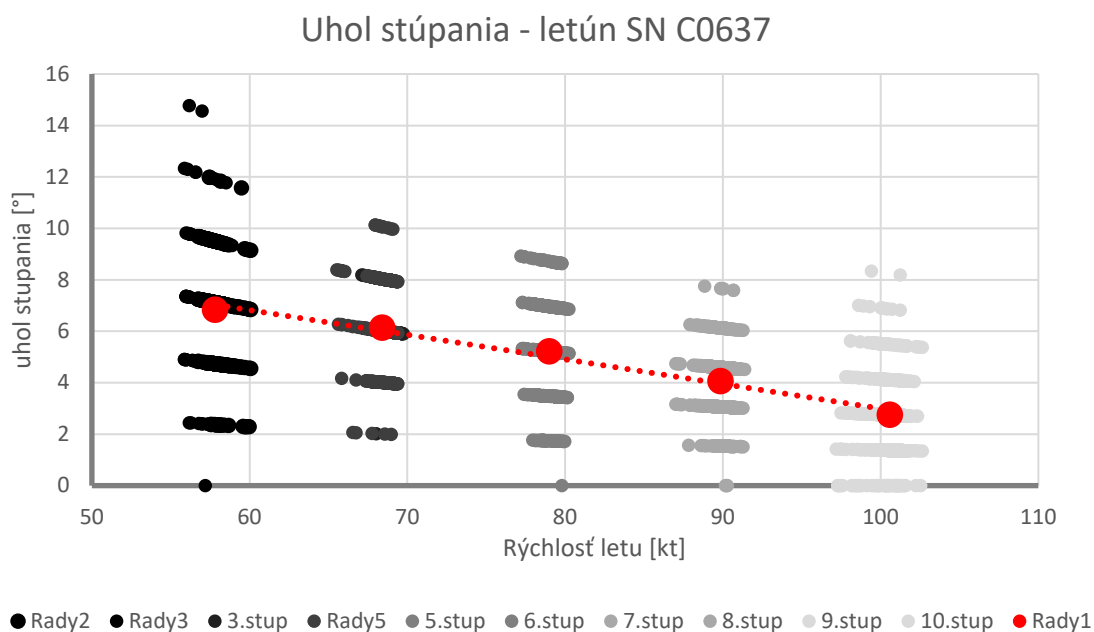
13.1.2. Uhol stúpania

Uhol stúpanie môžeme z rovnice stúpacej rýchlosti vyjadriť nasledovne:

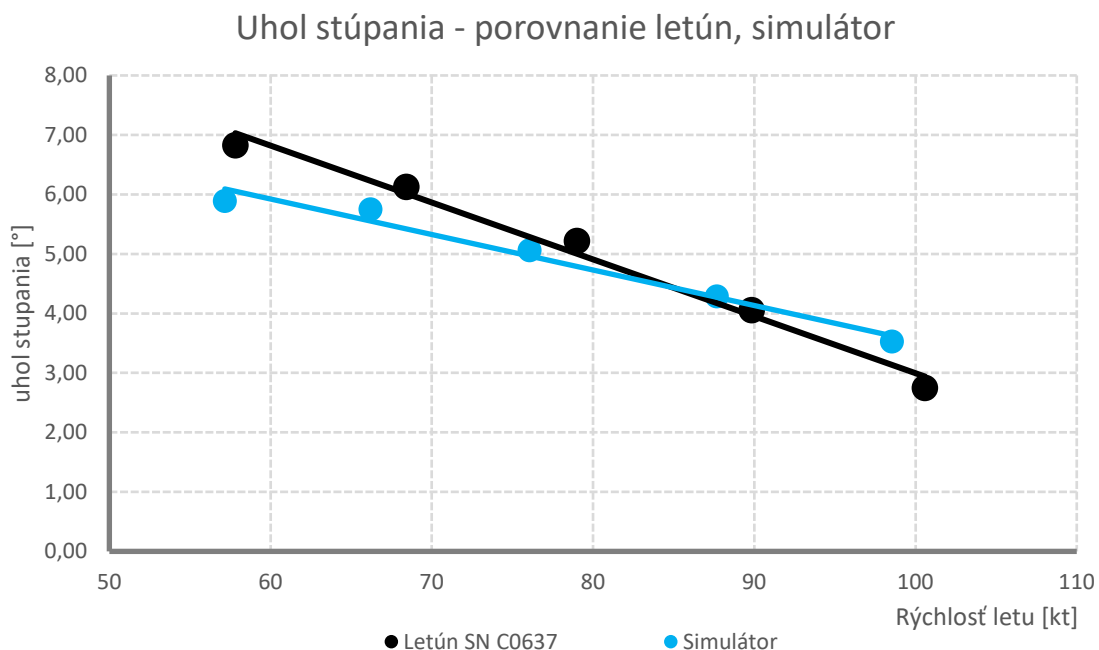
$$w = v_{TAS} \cdot \sin \gamma (v)$$

$$\sin \gamma = \frac{\Delta H_T}{\Delta t \cdot v_{TAS}}$$

Z hodnôt v daných úsekoch bola určená stredná hodnota pre jednotlivé úseky a tieto hodnoty boli preložené priamkou- Obr.13.3. Stredné hodnoty v jednotlivých úsekoch sú zobrazené v Tab. 13.1



Obr. 13.3 Uhol stúpania



Obr. 13.4 Uhol stúpania – porovnanie letún, simulátor

Tab.13.1 Stredné hodnoty uhlu stúpanie v jednotlivých úsekoch

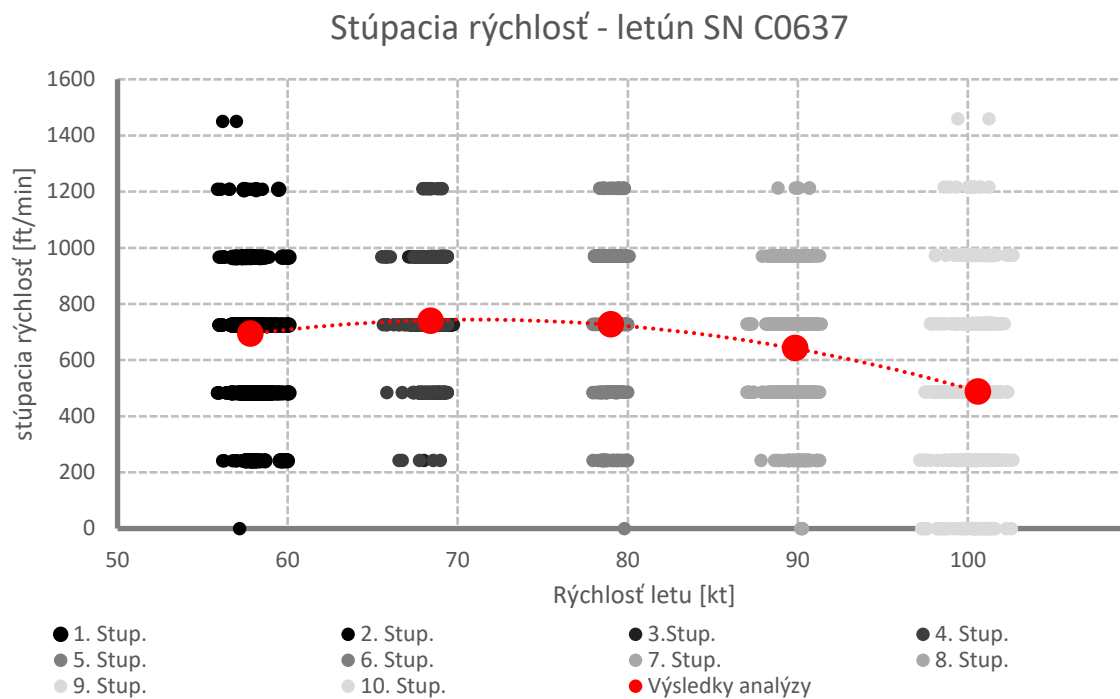
Pílový let č.	1.	2.	3.	4.	5.
Letún uhol γ [°]	6,82	6,13	5,21	4,05	2,75
Simulátor uhol γ [°]	5,89	5,74	5,06	4,28	3,53

13.1.3. Stúpacie rýchlosti

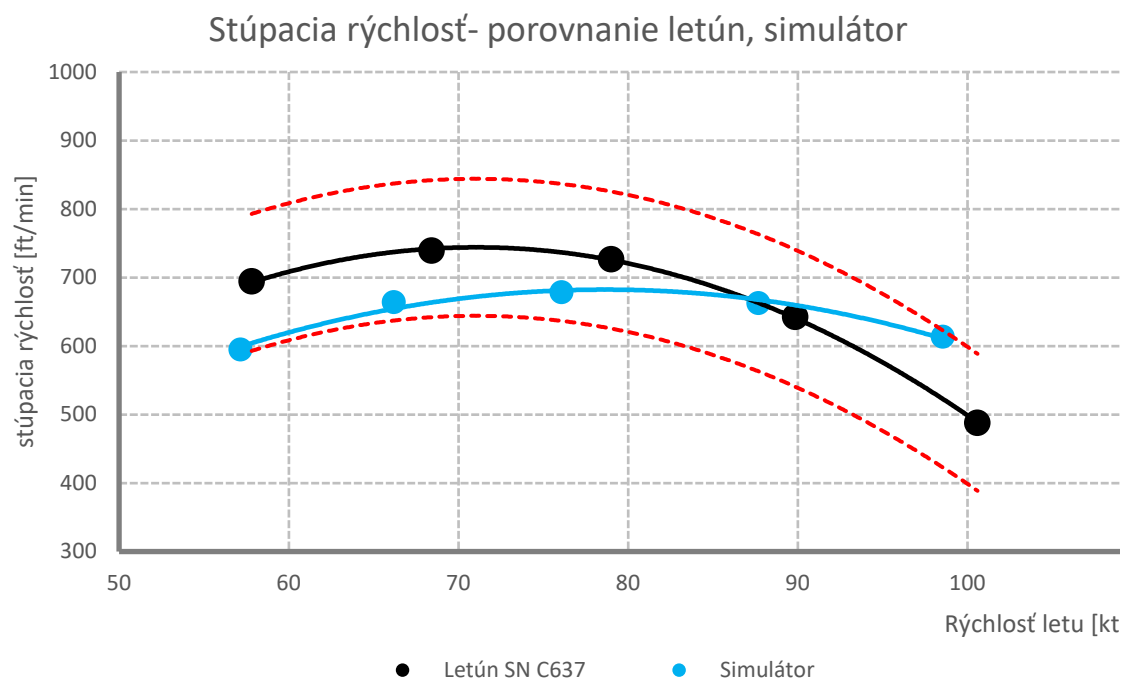
Stúpacie rýchlosti sú vykreslené na Obr.13.5. Z hodnôt v daných úsekoch bola určená stredná hodnota pre jednotlivé úseky a tieto hodnoty boli preložené funkciou $v_{TAS} \sin(Av_{TAS} + B)$. Stredné hodnoty v jednotlivých úsekoch sú zobrazené v Tab. 13.2.

Tab.13.2 Stredné hodnoty stúpacích rýchlostí v jednotlivých úsekoch

Pílový let č.		1.	2.	3.	4.	5.
Letún stúpacia rýchlosť	[m/s]	3,52	3,75	3,69	3,26	2,48
	[ft/min]	694,31	738,96	726,54	742,21	587,66
Simulátor stúpacia rýchlosť	[m/s]	3,02	3,37	3,45	3,37	3,11
	[ft/min]	594,66	663,92	678,53	662,67	613,59



Obr. 13.5 Stúpacia rýchlosť



Obr. 13.6 Stúpacie rýchlosti- porovnanie letún, simulátor

Výsledok skúšky a porovnanie výsledných hodnôt je zobrazené v Tab.13.3.

Tab. 13.3 Výsledné hodnotenie

Kontrolované hodnoty	Prípustná Tolerancia	No.	Letún	Simulátor	Chyba	Hodnotenie
Rýchlosť štand. TAS [kt]	±3kt	1	57,81	57,16	0,65	Spĺňa požiadavky
		2	68,41	66,20	2,21	
		3	79,00	76,07	2,93	
		4	89,85	87,69	2,16	
		5	100,59	98,54	2,05	
R/C [ft/min]	±100ft/min	1	694,31	594,66	99,65	Nespĺňa požiadavky
		2	738,96	663,92	75,04	
		3	726,54	678,53	48,01	
		4	742,54	662,67	20,47	
		5	587,66	613,59	126,33	
Celkové hodnotenie						
NESPLŇA POŽIADAVKY						
NAVRHOVANÉ ÚPRAVY						
- Stúpacie rýchlosti boli lietané metódou pílových letov pre päť rôznych rýchlostí. Rýchlosti letu boli dodržané pri meraní s letúnom aj simulátorom. Stúpacie rýchlosti pre letún a simulátor sú rozličné a to hlavne pri krajných hodnotách rýchlostí , kde nespĺňajú prepísané tolerancie. - Odporúča sa detailná kontrola aerodynamických charakteristík vstupujúcich do modelu simulátora a ich prípadná úprava.						

14. LETOVÉ MERANIA FTP-S-03

Merania boli uskutočnené podľa letového plánu v kapitole 10. Záznam letu je uvedený v prílohe C a I.

14.1. Vyvážiteľnosť

Skúška vyťažiteľnosti bola uskutočnená pre dve hodnoty rýchlosti letu. Posudzované parametre – uhol sklonu, výchylka vyvažovacej plošky a výkon letúnu sú zobrazené v Tab. 14.1. Hodnoty boli odčítané z dát meraní pre predpísané rýchlosti.

Skúška vyťažiteľnosti nebola vykonaná pre simulátor a to z dôvodu, že letún pomocou prototypu zobrazeného v kapitole 6. nebolo možné vyvážiť.

Tab. 14.1 Odčítané hodnoty pre letún SN C0637

Štandardná rýchlosť letu TAS	Rýchlosť letu IAS	Uhol sklonu	Výchylka vyvažovacej plošky	Výkon
kt	kt	°	°	kW
79,16	75	2,85	20,44	45,41
63,82	60	4,7	18,76	38,95

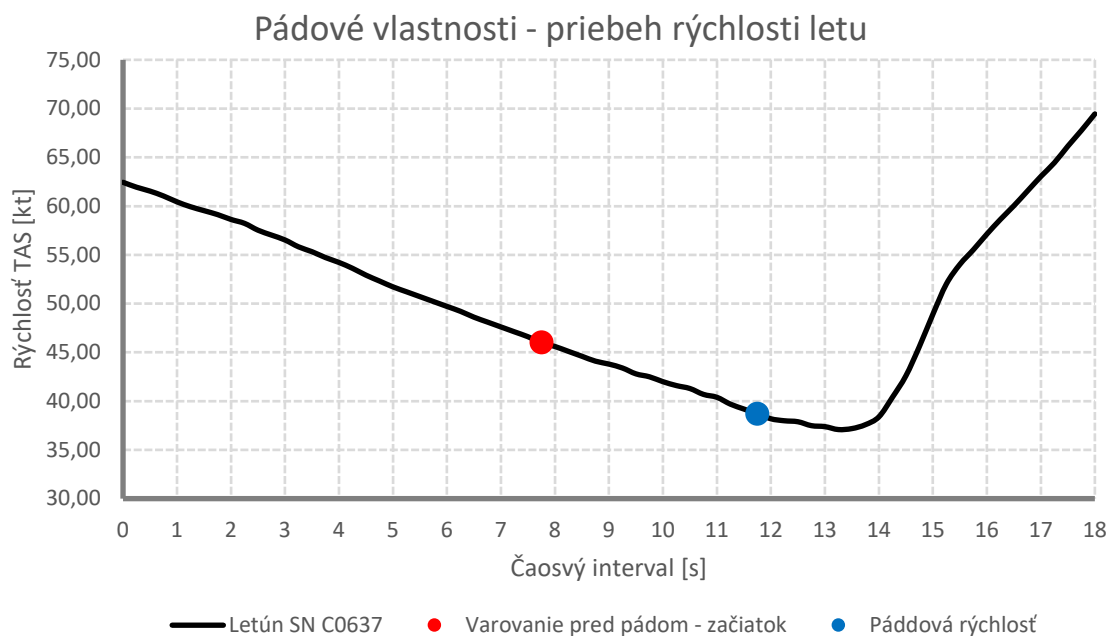
Výsledné hodnotenie skúšky vyťažiteľnosti je zhrnuté v Tab. 14.2.

Tab. 14.2 Výsledné hodnotenie – skúška vyvažiteľnosti

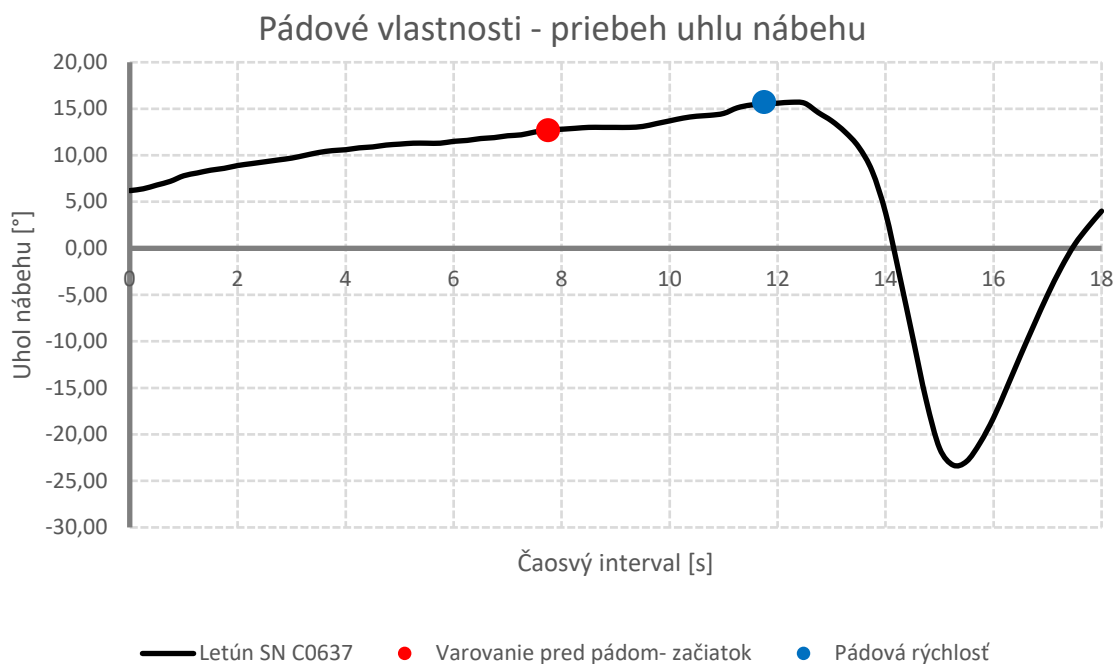
IAS	Kontrolované hodnoty	Tol.	Letún	Simulátor	Chyba	Hodnotenie
75	Výchylka vyvažovacej plošky	±2°	20,44 °	-	-	opakovať meranie
	Uhol sklonu	±2°	2,85 °	-	-	opakovať meranie
	Výkon	±5%	45,41 kW	-	-	opakovať meranie
60	Výchylka vyvažovacej plošky	±2°	18,76 °	-	-	opakovať meranie
	Uhol sklonu	±2°	4,7 °	-	-	opakovať meranie
	Výkon	±5%	38,95 kW	-	-	opakovať meranie
Celkové hodnotenie- Vyvážiteľnosť						
OPAKOVAŤ MERANIE						
Meranie vyvažiteľnosti prebehlo len na letúne SN C0637 a to z dôvodu že, fyzické riadenie simulátoru nie je možné plne vyvážiť a keďže ovplyvňuje kontrolované parametre a je odporúčaná jeho úprava.						

14.2. Pádové rýchlosti

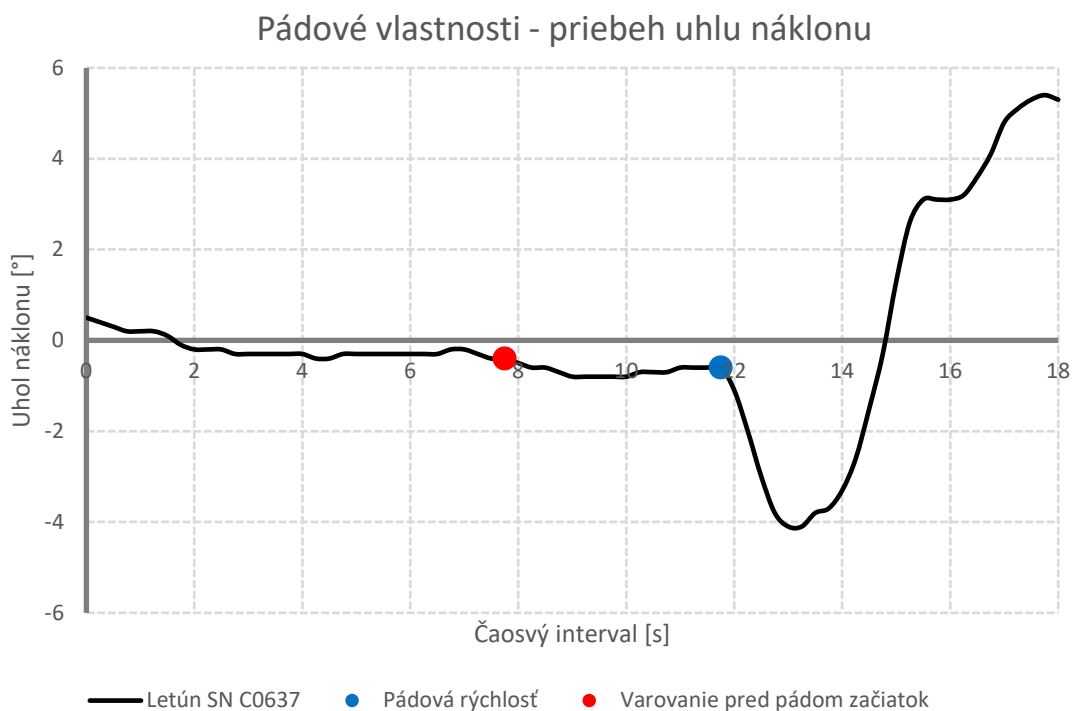
Pri skúške pádových rýchlostí boli vykonaných tri pády v rôznych konfiguráciách. Ako vzor priebehu pádu je na Obr. 14.1, Obr.14.2 a Obr.14.3 vykreslený pád v horizontálnom lete bez vysunutých vztlakových klapiek. Výsledky pádových vlastností pre všetky konfigurácie sú zhrnuté v Tab.14.3.



Obr. 14.1 Pádové vlastnosti- rýchlosť letu



Obr. 14.2 Pádové vlastnosti- uhol nábehu



Obr. 14.3 Pádové vlastnosti – uhol náklonu

Tab.14.1 zhrňa odčítané pádové vlastnosti pre všetky vykonané konfigurácie na letúne so sériovým číslom C0637.

Tab. 14.3 Odčítané parametre- varovanie pred pádom

Klapky	Varovanie pred pádom				
	Vstupná rýchlosť štand. TAS	Rýchlosť varovania štand. TAS	Uhol nábehu	Uhol sklonu	Uhol náklonu
	kt	kt	°	°	°
Letún SN C0637					
0	62	46	12,7	10,7	-0,4
12	59	41,8	12,5	10,5	0,8
30	53	37,8	9,8	7,8	1,3
Simulátor					
0	62	48,5	16,5	14,5	0,28
12	59	46,5	18,5	16,5	1,7
30	53	44	17,1	15,1	2,7
Poznámka: Podľa nameraných dát simulátor má zvukové varovanie pádu ale až v čase pádu.					

Výsledok skúšky a porovnanie výsledných hodnôt je zobrazené v Tab.14.4.

Tab. 14.4 Výsledné hodnoty

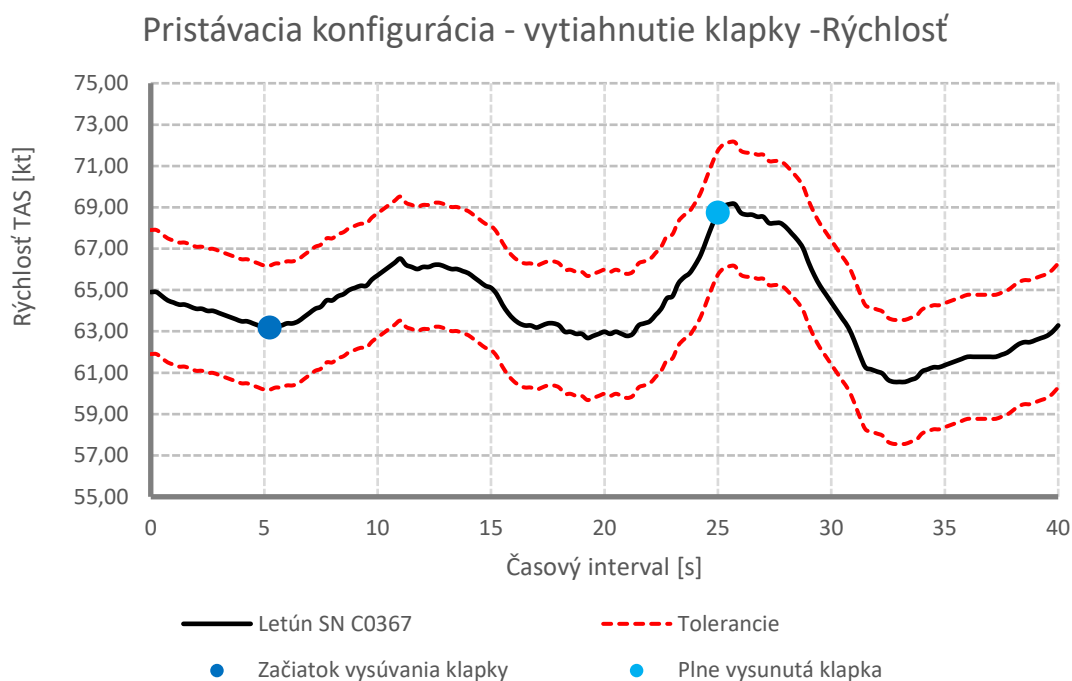
Kontrolované hodnoty	Tol.	Klapky	Letún	Simulátor	Chyba	Hodnotenie
Rýchlosť varovania	±3kt	0	46 kt	48,5 kt	-	nesplňa požiadavky
		12	41,8 kt	46,5 kt	-	
		30	37,8 kt	44 kt	-	
Uhol nábehu varovania	±2°	0	12,7°	16,5	-	
		12	12,5°	18,5	-	
		30	9,8°	17,1	-	
Uhol sklonu varovania	±2°	0	10,7°	14,5	-	
		12	10,5°	16,5	-	
		30	7,8°	15,1	-	
Uhol náklonu varovania	±2°	0	-0,4°	0,28	-	
		12	0,8°	1,7	-	
		,0	1,3°	2,7	-	
Celkové hodnotenie- Pádové vlastnosti						
NESPLŇA POŽIADAVKY						
NAVRHOVANÉ ÚPRAVY						
- Skúška pádových vlastností nesplňa požiadavky, pretože signalizácia, ktorá by varovala pred pádom nastáva v simulátore až v dobe kedy letún začne padať. - Je nutné do modelu simulátora pridať signalizáciu, ktorá by pred pádom varovala pri rýchlostiach zodpovedajúcim reálnemu letúnu. - Taktiež priebeh pádu sa nezhoduje z reálnym priebehom- simulátor sa dostáva do pádu pri väčších uhloch nábehu a iných rýchlostiach letu. - Preto je doporučená detailná aerodynamické kontrola modelu simulátora a jej prípadná oprava.						

14.3. Dynamika zmeny klapky

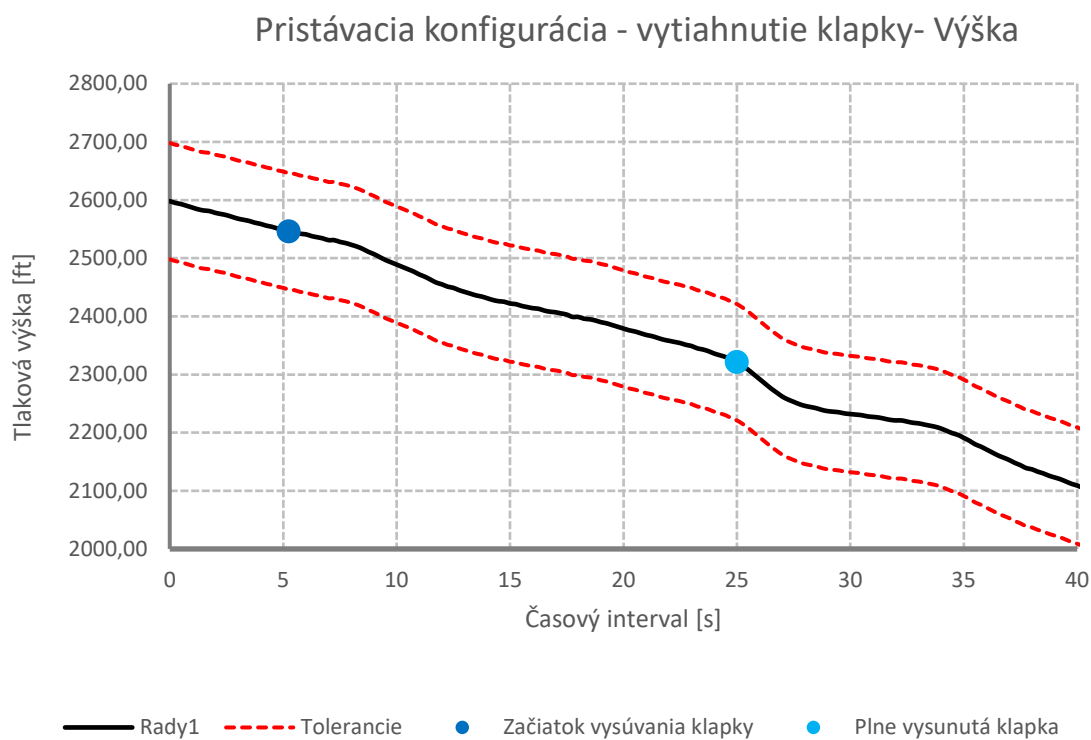
Skúška dynamiky zmeny klapky je vykonaná ako pre vzletovú tak pristávaciu konfiguráciu.

14.3.1. Pristávacia konfigurácia

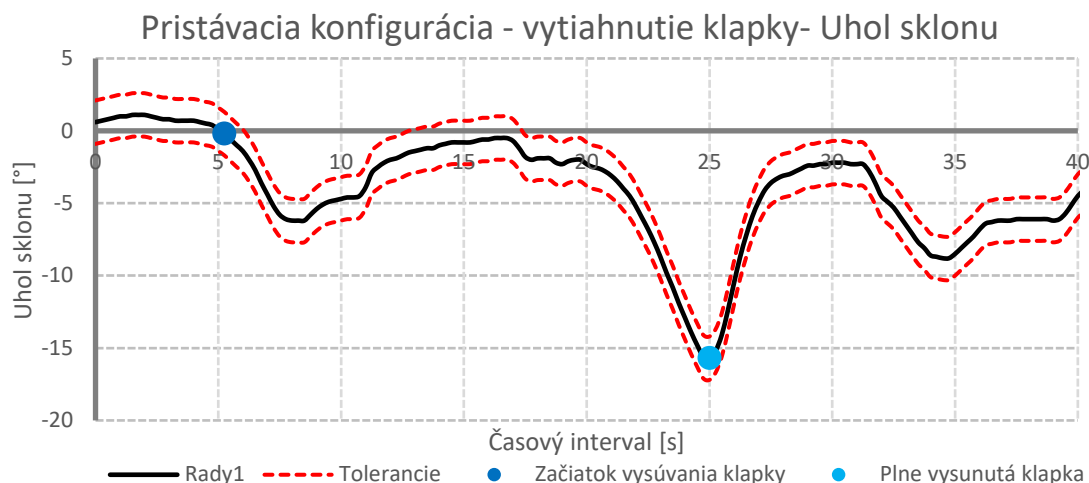
Pre pristávaciu konfiguráciu bola skúška vykonaná v počiatočnej výške 2600 ft do výšky 2000 ft. Porovnávanými parametrami pri tejto skúške je rýchlosť letu, výška a uhol sklonu. Priebeh týchto parametrov v čase je vykreslený na Obr.14.4, Obr.14.5 a Obr.14.6.



Obr. 14.4 Dynamika zmeny klapky- pristávacíá konfigurácia - rýchlosť



Obr. 14.5 Dynamika zmeny klapky- pristávacíá konfigurácia - výška



Obr. 14.6 Dynamika zmeny klapky- pristávacia konfigurácia – uhol sklonu

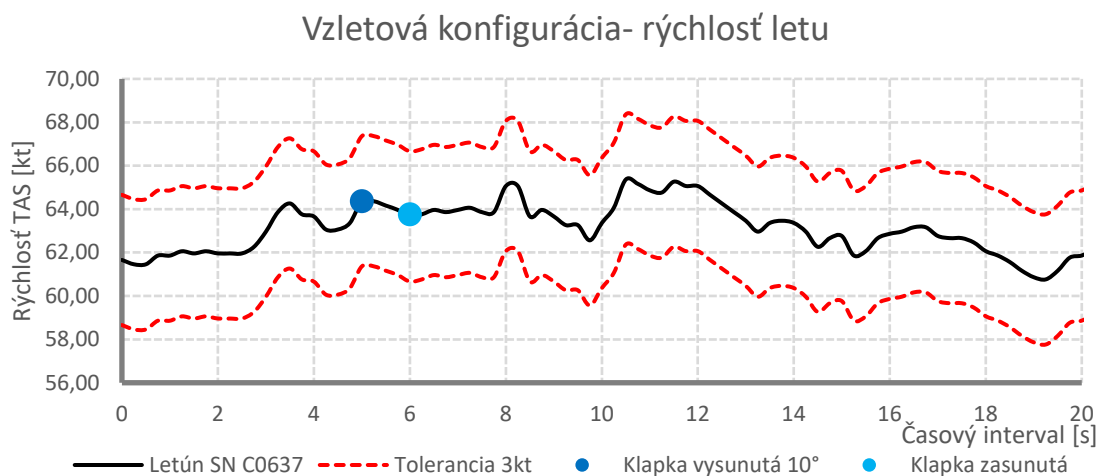
V Tab. 14.5 je sú zobrazené parametre odčítané z meraní

Tab. 14.5 Odčítané parametre- pristátie

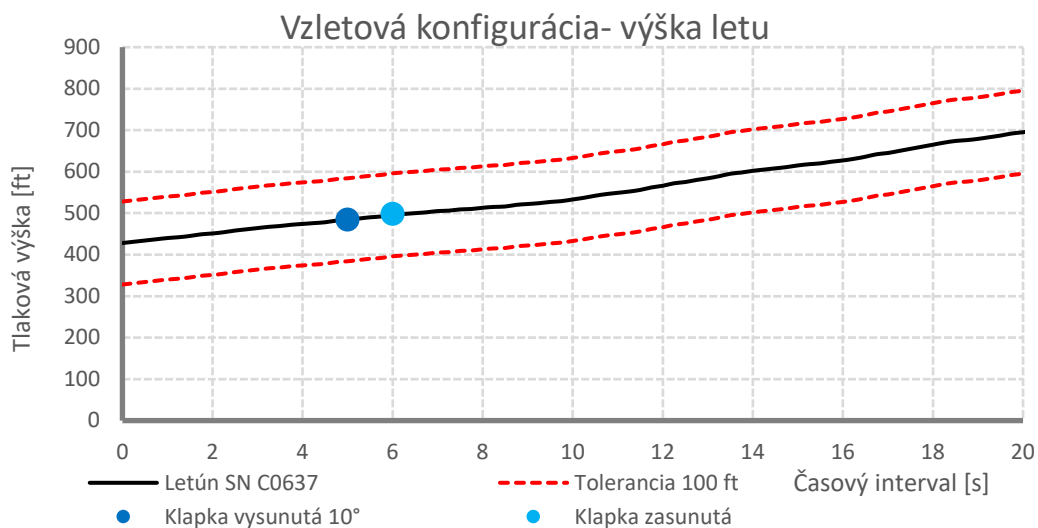
	Parameter	Letún	Simulátor
Pristátie	Rýchlosť letu	min.61 kt max. 64 kt	-
	Tlaková výška letu	min.2600 ft max.2100 ft	-
	Uhol sklonu	min. 0,1° max. 15,7 °	-

14.3.2. Vzletová konfigurácia

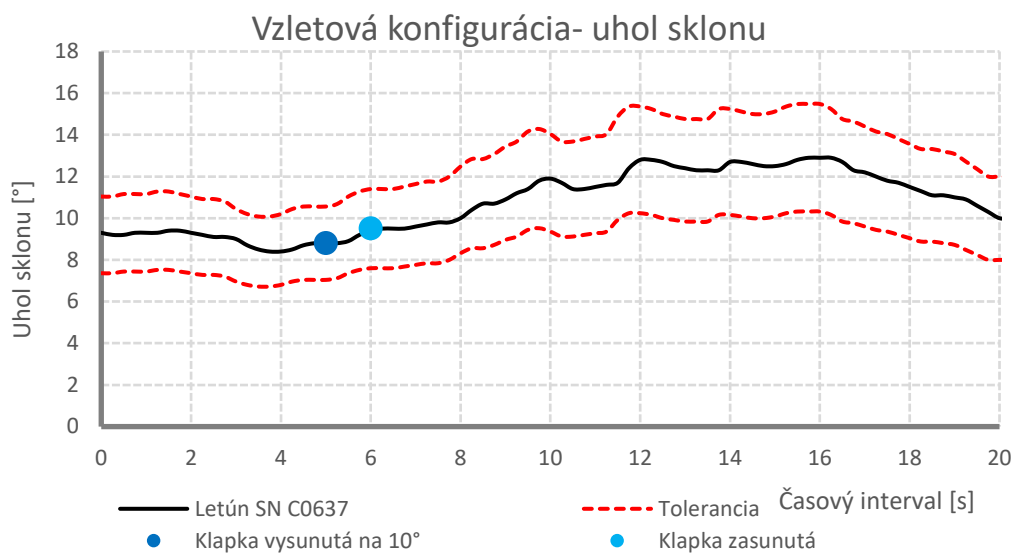
Porovnávanými parametrami pri tejto skúške je rýchlosť letu, výška a uhol sklonu. Pribeh týchto parametrov v čase je vykreslený na Obr.14.7, Obr.14.8 a Obr.14.9.



Obr. 14.7 Vzletová konfigurácia - rýchlosť letu



Obr. 14.8 Vzletová konfigurácia - tlaková výška



Obr. 14.9 Vzletová konfigurácia- uhol sklonu

V Tab. 14.6 je sú zobrazené parametre odčítané z meraní

Tab. 14.6 Odčítané parametre – vzlet.konfigurácia

	Parameter	Letún	Simulátor
Vzlet	Zatiahnutie klapky	1 s	-
	Rýchlosť letu	min.61 kt max. 64 kt	-
	Tlaková výška letu	min. 428 ft max. 702 ft	-
	Uhol sklonu	min.8,4 ° max. 12,7 °	-

14.3.3. Celkové hodnotenie – dynamika zmeny klapky

Výsledok skúšky a porovnanie výsledných hodnôt je zobrazené v Tab.14.7.

Tab. 14.7 Výsledné hodnotenie – dynamika zmeny klapky

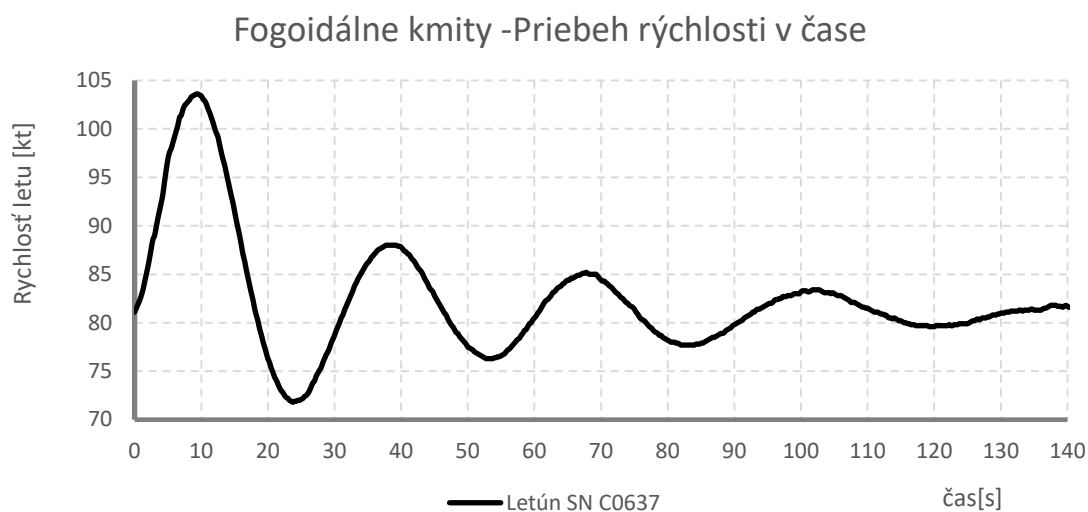
	Kontrolované hodnoty	Tol.	Letún	Simulátor	Chyba	Hodnotenie
Pristátie	Rýchlosť letu	±3kt	Obr.14.4	-	-	opakovať skúšku
	Tlaková výška	±100ft	Obr.14.5	-	-	
	Uhol sklonu	±20%	Obr.14.6	-	-	
Vzlet	Rýchlosť letu	±3kt	Obr.14.7	-	-	
	Tlaková výška	±100ft	Obr.14.8	-	-	
	Uhol sklonu	±20%	Obr.14.9	-	-	
Celkové hodnotenie- Dynamika zmeny klapky						
OPAKOVAŤ MERANIE						
Pri vyhodnocovaní skúšky simulátora bolo zistené, že trend krivky neodpovedá reálnemu meraniu z tohto dôvodu nedošlo k vyhodnoteniu a porovnaniu nameraných dát a odporúča sa opakovať meranie.						

15. LETOVÉ MERANIA FTP-S-04

Merania boli uskutočnené podľa letového plánu v kapitole 10. Záznam letu je uvedený v prílohe D a J. Všetky parametre sú hodnotené na štandardných hodnotách.

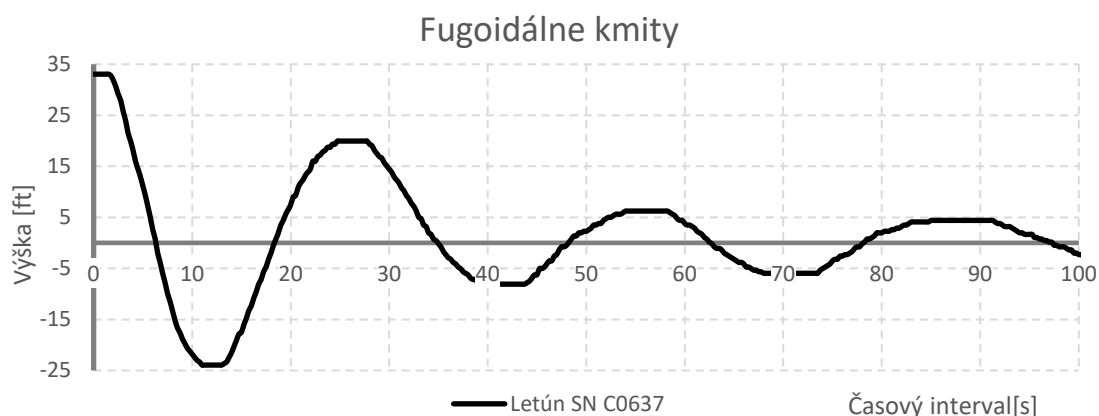
15.1. Fugoidálne kmity

Na Obr.15.1. a Obr.15.2 je zobrazený priebeh fugoidálnych kmitov v závislosti na čase. Ukážka priebehu fugoidálnych kmitov je demonštrovaná na meraniach letúnu C0637. Výsledné amplitúdy letúnu a simulátora sú porovnané na konci kapitoly 15.1.



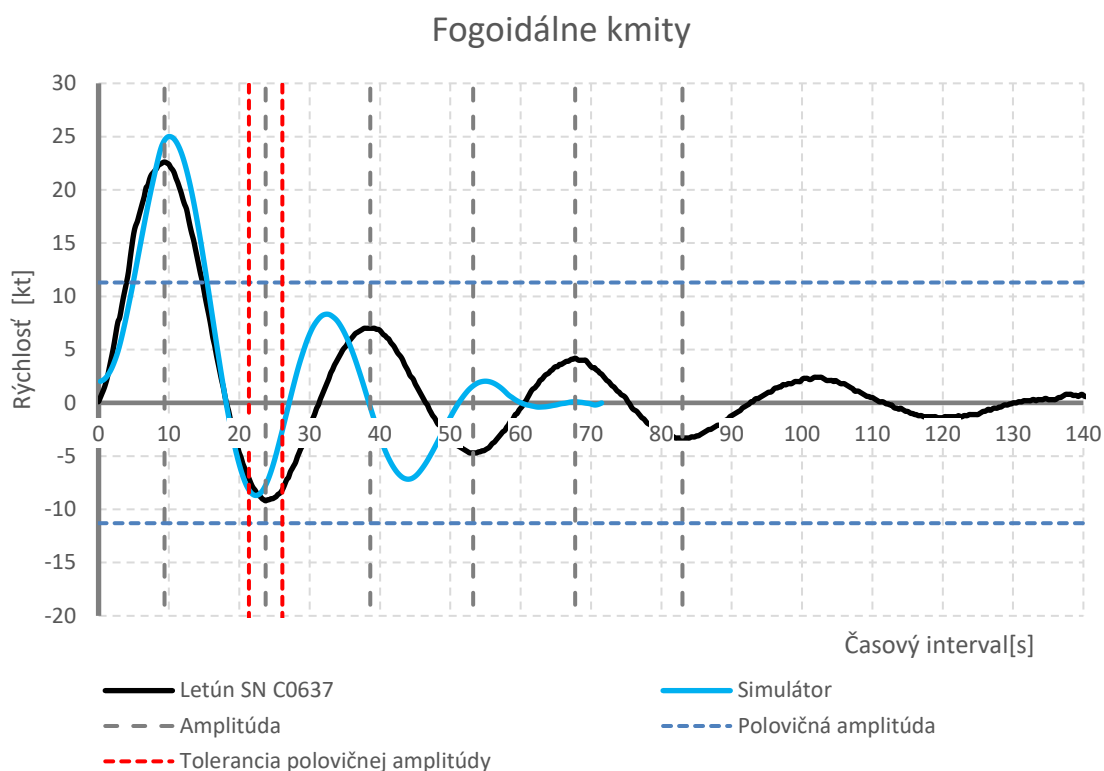
Obr. 15.1 Fugoidálne kmity - priebeh rýchlosti

Obr.15.3. zobrazuje fugoidálne kmity tak, že počiatok osy je umiestnený do neutrálnej osy pohybu, tj. do osi okolo, ktorej letún kmitá.



Obr. 15.2 Fugoidálne kmity – neutrálna osa pohybu

Výsledný priebeh fugoidálnych kmitov a požadované pásmo tolerancii je zobrazené na Obr.15.4. V Tab.15.1 je sú zobrazené parametre odčítané z meraní.



Obr. 15.3 Fugoidálne kmity - finálny priebeh

Tab. 15.1 Odčítané parametre

Parameter	Letún	Simulátor
Periódá 1	29,25 s	22,55 s
Periódá 2	29,50 s	21,53 s
Periódá 3	29,13 s	22,28 s
Periódá 4	29,75 s	18,76 s
Priemerná periódá	29,41 s	21,28 s
Čas polovičnej amplitúdy	23,75 s	22,39 s

Výsledok skúšky a porovnanie výsledných hodnôt je zobrazené v Tab.15.2.

Tab. 15.2 Výsledné hodnotenie

Kontrolované hodnoty	Prípustná Tolerancia	Letún	Simulátor	Chyba	Hodnotenie
Periódá	±10%	29,41 s	21,28 s	27,64%	nesplňa požiadavky
Čas do polovičnej amplitúdy	±10%	23,75 s	22,39 s	5,73%	spĺňa požiadavky
Celkové hodnotenie – Fugoidálne kmity					
NESPLŇA POŽIADAVKY					

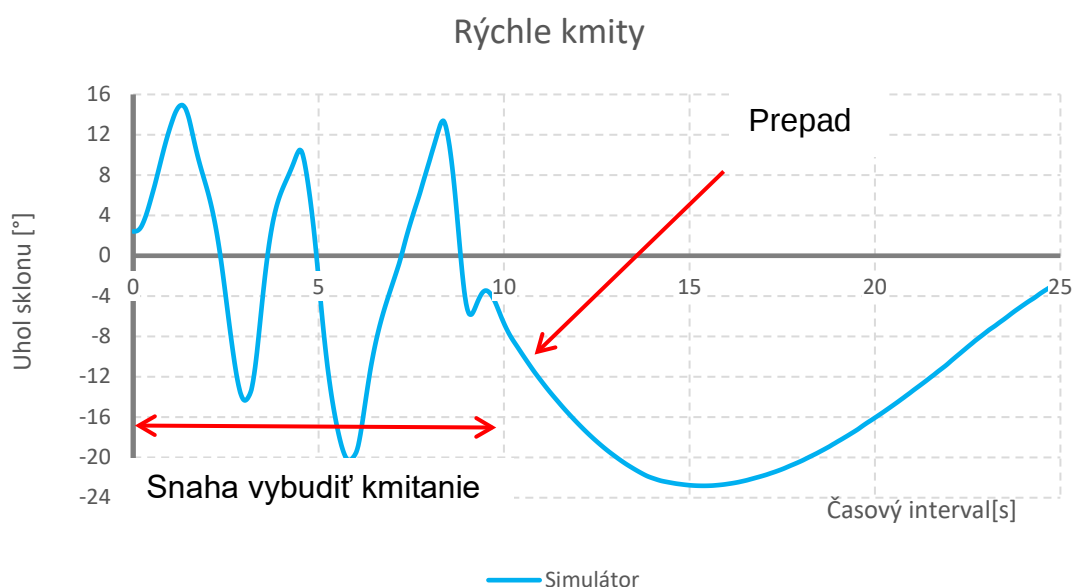
NAVRHOVANÉ ÚPRAVY

- Fyzické riadenie simulátora nie je možné plne vyvážiť ovplyvňuje kontrolované parametre – i po snahe pilota na simulátore nebolo možné určiť vyváženú polohu riadenia a výška fugoidálnych kmitov v ich priebehu rastie čo ovplyvňuje výslednú periódu kmitania.
- Odporúča sa taktiež detailná aerodynamická kontrola modelu simulátora.

15.2. Rýchle kmity

Meranie rýchlych kmitov bolo uskutočnené pre letún so sériovým číslo C0637 aj pre simulátor. Zvolenou metodikou sa ani na jednom nepodarilo rýchle kmity vybudieť.

Na Obr.15.5 je možné vidieť snahu vybudieť rýchle kmity na simulátore avšak po ukončení zásahu pilota do riadidiel sa letún začne prepadať. Rovnaké správanie vykazuje aj letún SN C0637.



Obr. 15.4 Rýchle kmity

Tab. 15.3 Hodnotenie skúšky – rýchle kmity

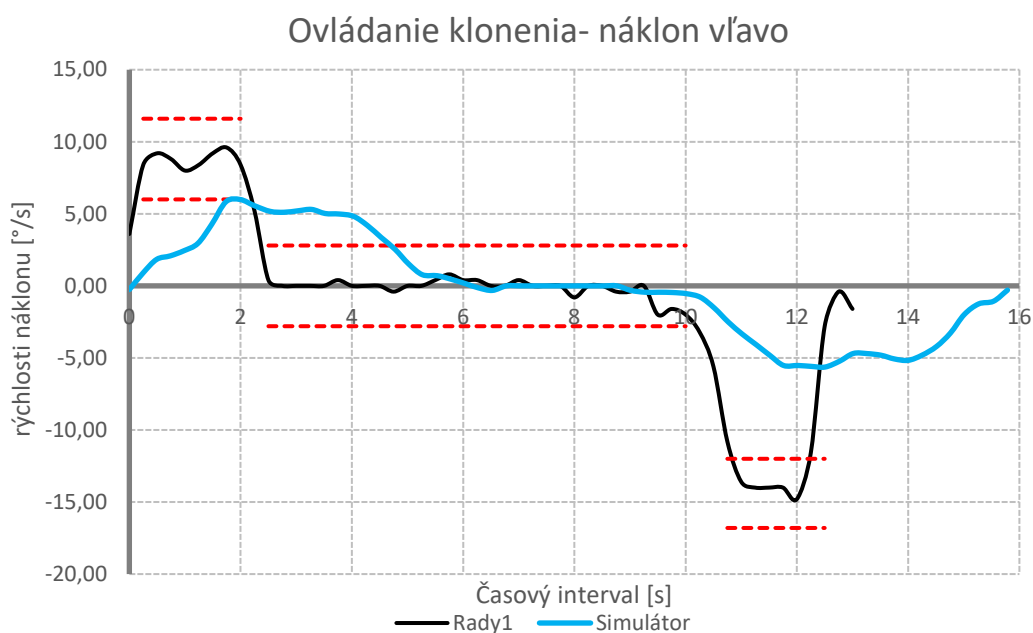
Kontrolované hodnoty	Prípustná Tolerancia	Letún	Simulátor	Chyba	Hodnotenie
Periódá	10%	neboli vybudené	neboli vybudené	-	opakovať skúšku
Čas do polovičnej amplitúdy	10%	neboli vybudené	neboli vybudené	-	opakovať skúšku
Celkové hodnotenie – Rýchle kmity					
OPAKOVAŤ MERANIE					
Aby bolo isté, že kmitanie nejde vyvolať odporúča sa zmeniť metodiku skúšky a opakovať meranie, pretože kmitanie nebolo vybudené na letúne ani na simulátore sa kmitanie pri spracovaní neprejavilo.					

16. LETOVÉ MERANIA FTP-S-05

Merania boli uskutočnené podľa letového plánu v kapitole 10. Záznam letu je uvedený v prílohe E a prílohe K.

16.1. Odozva klonenia

Na Obr.16.1. a Obr.16.2 je zobrazený priebeh odozvy kormidla v závislosti na čase. Posudzovacím parametrom tejto skúšky je rýchlosť klonenia.



Obr. 16.1 Odozva klonenia- náklon vľavo

V Tab. 16.1 je sú zobrazené parametre odčítané z meraní.

Tab. 16.1 Odčítané parametre

Parameter		Letún	Simulátor
Max. rýchlosť klonenia – vstup	Vľavo	9,6 °/s	5,3 °/s
Max. rýchlosť klonenia – výstup		-14,8 °/s	-5,6 °/s
Tlaková výška		min. 2707 ft max. 2719 ft	min. 2860 ft max. 2868 ft
Rýchlosť TAS		min. 76 kt max. 80,5 kt	min. 76,7 kt max. 89,5 kt

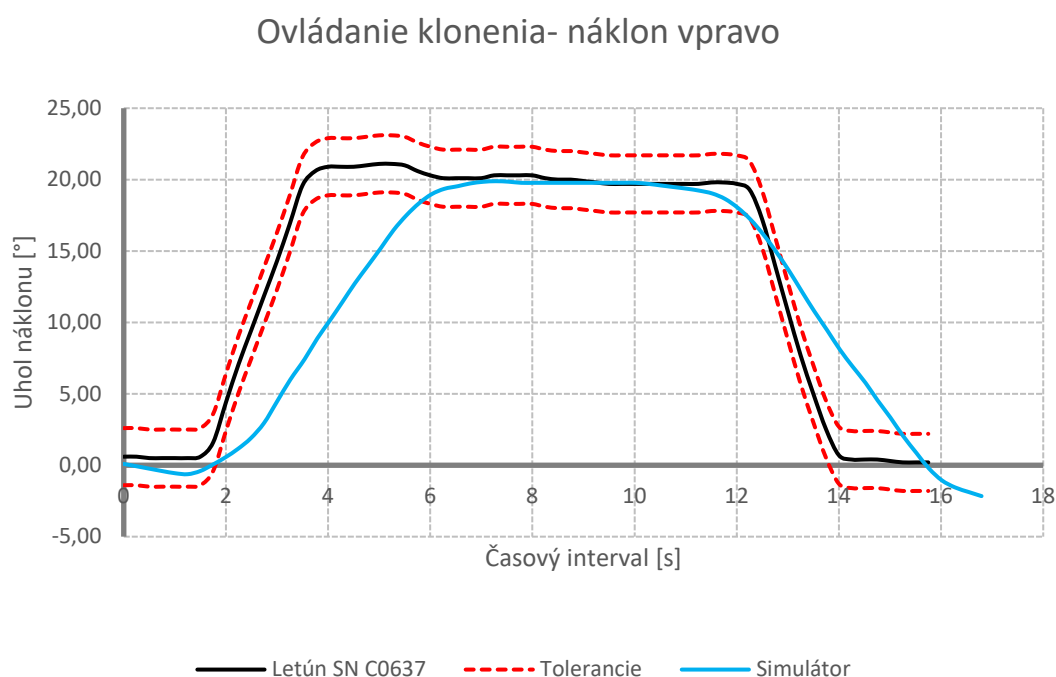
Výsledné hodnotenie skúšky odozvy klonenia je zhrnuté v Tab. 16.2.

Tab. 16.2 Výsledné hodnotenie

Kontrolované hodnoty	Prípustná Tolerancia	Letún	Simulátor	Chyba	Hodnotenie
Rýchlosť zmeny náklonu	$\pm 2^\circ/\text{s}$	9,6°/s	5,3 °/s	4,3°/s	nesplňa požiadavky
		-14,8°/s	-5,6°/s	9,2°/s	nesplňa požiadavky
Celkové hodnotenie – Odozva klonenia					
NESPLŇA POŽIADAVKY					
NAVRHOVANÉ ÚPRAVY					
Krídela na modeli simulátora nedosahujú dostatočnú výchylku čo vyplýva z priebehu zobrazenom na Obr.16.1 a tým dosahuje nižšiu rýchlosť náklonu. V modeli simulátora je doporučené zväčšiť výchylku krídeliek prípadne skontrolovať aerodynamické charakteristiky krídelok.					

16.2. Ovládanie klonenia

Na Obr.17.3. a Obr.17.4 je zobrazený priebeh odozvy kormidla v závislosti na čase. Posudzovacím parametrom tejto skúšky je uhol náklonu.



Obr. 16.2 Ovládanie klonenia - náklon vpravo

V Tab. 16.3 je sú zobrazené parametre odčítané z meraní.

Tab. 16.3 Odčítané parametre

Parameter		Letún SN C0637	Simulátor
Max. náklon	Vpravo	21 °	19,88 °
Max. rýchlosť náklonu		11,2 °/s	5,9 °/s
Čas dosiahnutia náklonu 20°		2 s	4 s
Tlaková výška		min. 2714 ft max. 2726 ft	min. 2855 ft max. 2863 ft
Rýchlosť štand. TAS		min. 77,5 kt max. 81,4 kt	min. 77,9 kt max. 79,1 kt

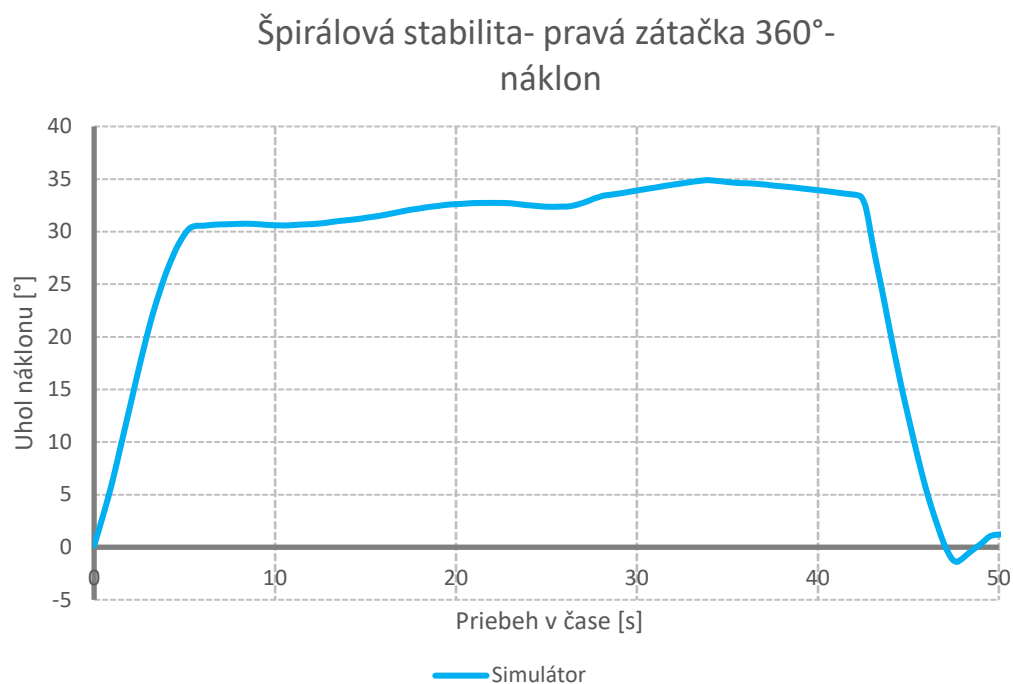
Výsledné porovnanie skúšky je zhrnuté v Tab. 16.4.

Tab. 16.4 Výsledné hodnotenie

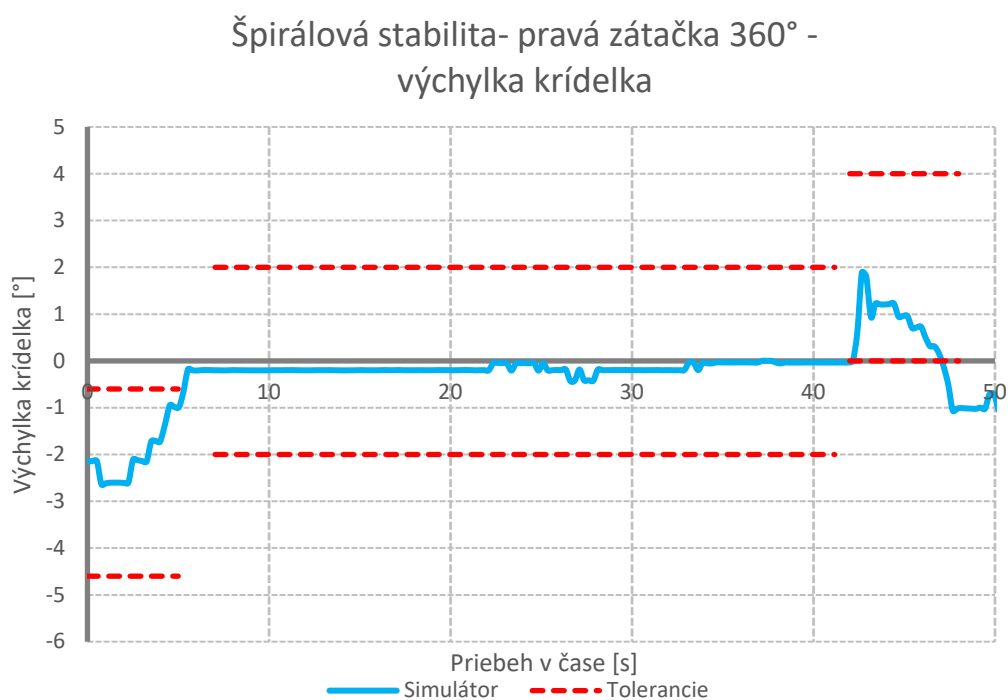
Kontrolované hodnoty	Tol.	Letún	Simulátor	Chyba	Hodnotenie
Uhol náklonu počiatočný	±2°	0,5°	0,55°	0,05°	-
Uhol náklonu po 1s zahájenia manévru	±2°	9,5°	4,45°	5,05°	Nespĺňa požiadavky
Uhol náklonu po 2s zahájenia manévru	±2°	16,9°	10,1°	6,5°	Nespĺňa požiadavky
Uhol náklonu koncový	±2°	19,60°	19,54°	0,06°	-
Celkové hodnotenie – Ovládanie klonenia					
NESPLŇA POŽIADAVKY					
NAVRHOVANÉ ÚPRAVY					
- Rovnako ako pri skúške odozvy klonenie je vidieť, že model simulátora nemá dostatočne veľkú výchylku krídeliek. - V modeli simulátora je doporučené zväčšiť výchylku krídeliek.					

16.3. Špirálová stabilita

Meranie rýchlych kmitov na letúne so sériovým číslom C0637 bolo vykonané s uhlom náklonu 20°, čo nespĺňa požiadavky alternatívneho testu špirálovej stability podľa predpisu EASA CS-FSTD [1], ktorý vyžaduje uhol náklonu 30°. Z tohto dôvodu bude vyhodnotenie spracované len pre meranie zo simulátora, kde sú požiadavky predpisu splnené.



Obr. 16.3 Zatačka 360 ° - náklon



Obr. 16.4 Zatačka 360 ° - výchylka krídelka

V Tab. 16.5 je sú zobrazené parametre odčítané z meraní.

Tab. 16.5 Odčítané parametre

Parameter		Letún SN C0637	Simulátor
Max. náklon	Vpravo	-	34,5
Doba trvania zatáčky		-	49,5 s
Tlaková výška		-	min. 2690 ft max. 2700 ft
Rýchlosť štand. TAS		-	min. 72,5 kt max. 78,5 kt

Výsledné hodnotenie skúšky je zhrnuté v Tab. 16.6.

Tab. 16.6 Výsledné hodnotenie

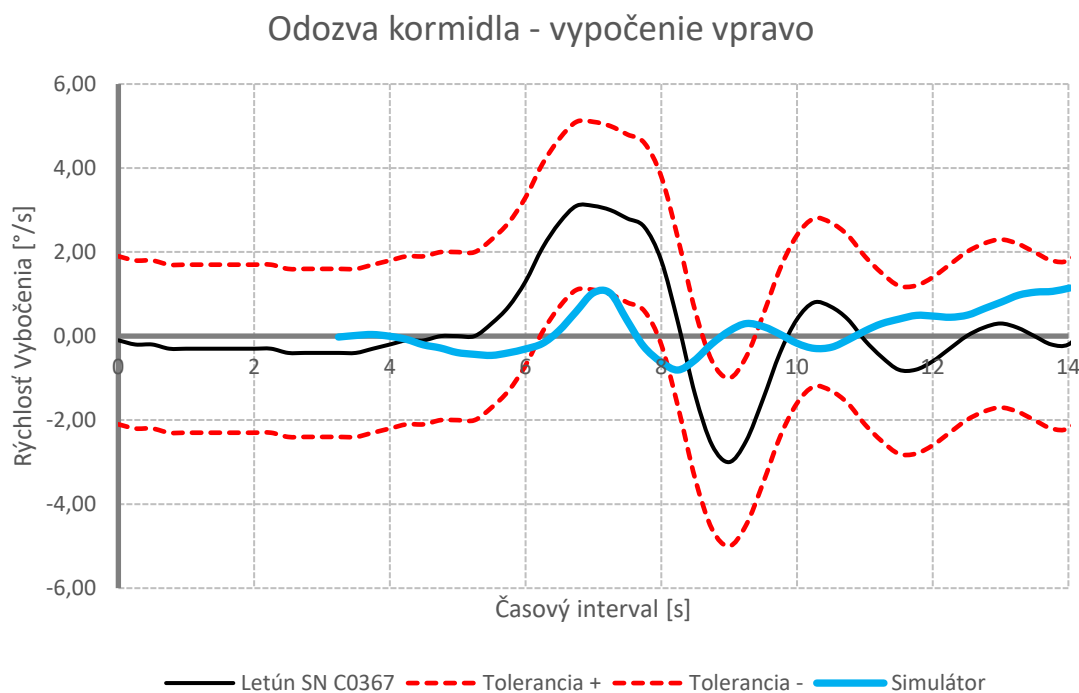
Kontrolované hodnoty	Prípustná Tolerancia	Letún	Simulátor	Chyba	Hodnotenie
Výchylka krídelka	$\pm 2^\circ$	-	max. $-2,5^\circ$	-	opakovať meranie
Celkové hodnotenie – Špirálová stabilita					
OPAKOVAŤ MERANIE					
Aby bolo možné skúšku porovnať je nutné znova zalietat' 360° zatáčku na letúne PS-28 Cruiser, kde bola táto úloha zalietaná s uhlom náklonu 20°, čo nespĺňa požiadavky alternatívneho testu špirálovej stability podľa predpisu EASA CS-FSTD [1], ktorý vyžaduje uhol náklonu 30°.					

17. LETOVÉ MERANIA FTP-S-06

Merania boli uskutočnené podľa letového plánu v kapitole 10. Záznam letu je uvedený v prílohe F a prílohe L.

17.1. Odozva smerového kormidla

Na Obr.17.1. a Obr.17.2 je zobrazený priebeh odozvy kormidla v závislosti na čase. Posudzovacím parametrom tejto skúšky je rýchlosť vybočenia.



Obr. 17.1 Odozva kormidla – vybočenie vpravo

V Tab. 16.3 je sú zobrazené parametre odčítané z meraní.

Tab. 17.1 Odčítané parametre

Parameter		Letún	Simulátor
Max. rýchlosť vypočenia	Vpravo	3,1 °/s	1,03 °/s
Tlaková výška		min. 2701 ft max. 2716 ft	min. 2840 ft max. 2750 ft
Rýchlosť TAS		min. 77,5 kt max. 80 kt	min. 77,5 kt max. 79 kt

Výsledné hodnotenie skúšky je zhrnuté v Tab. 16.6.

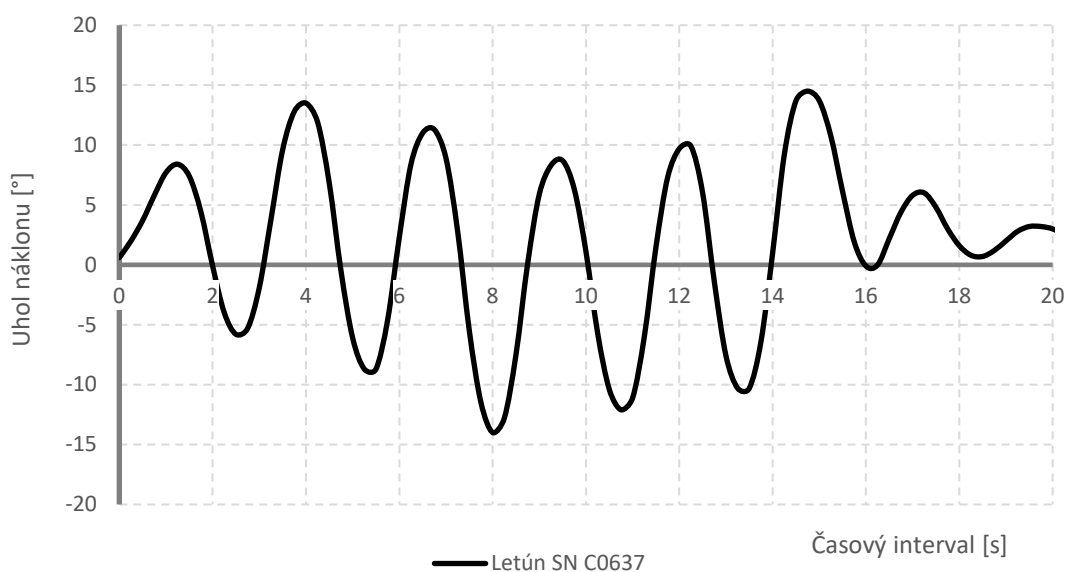
Tab. 17.2 Výsledné hodnotenie

Kontrolované hodnoty	Prípustná Tolerancia	Letún	Simulátor	Chyba	Hodnotenie
Rýchlosť vybočenia	$\pm 2\%/s$	Obr.17.1	Obr.17.1	-	Nespĺňa požiadavky
Celkové hodnotenie – Ovládanie klonenia					
NESPLŇA POŽIADAVKY					
NAVRHOVANÉ ÚPRAVY					
- Výchylka smerového kormidla na modeli simulátora nedosahuje dostatočnú výchylku čo vyplýva z priebehu zobrazenom na Obr.17.1 a tým dosahuje nižšiu rýchlosť vybočenia. - V modeli simulátora je doporučené zväčšiť výchylku smerového kormidla prípadne skontrolovať aerodynamické charakteristiky chvostových plôch.					

17.2. Dutch Roll

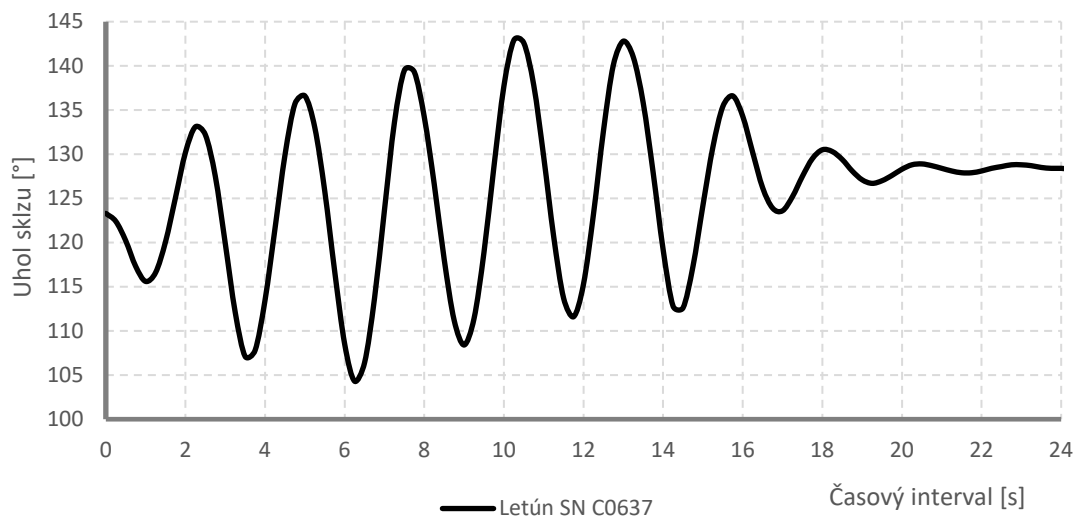
Na Obr.17.2 a Obr.17.3 je zobrazený priebeh Dutch Roll v závislosti na čase. Na Obr.17.2 je zobrazený priebeh uhlu náklonu na čase a na Obr.17.3 uhol sklzu na čase.

Dutch Roll - priebeh náklonu v čase



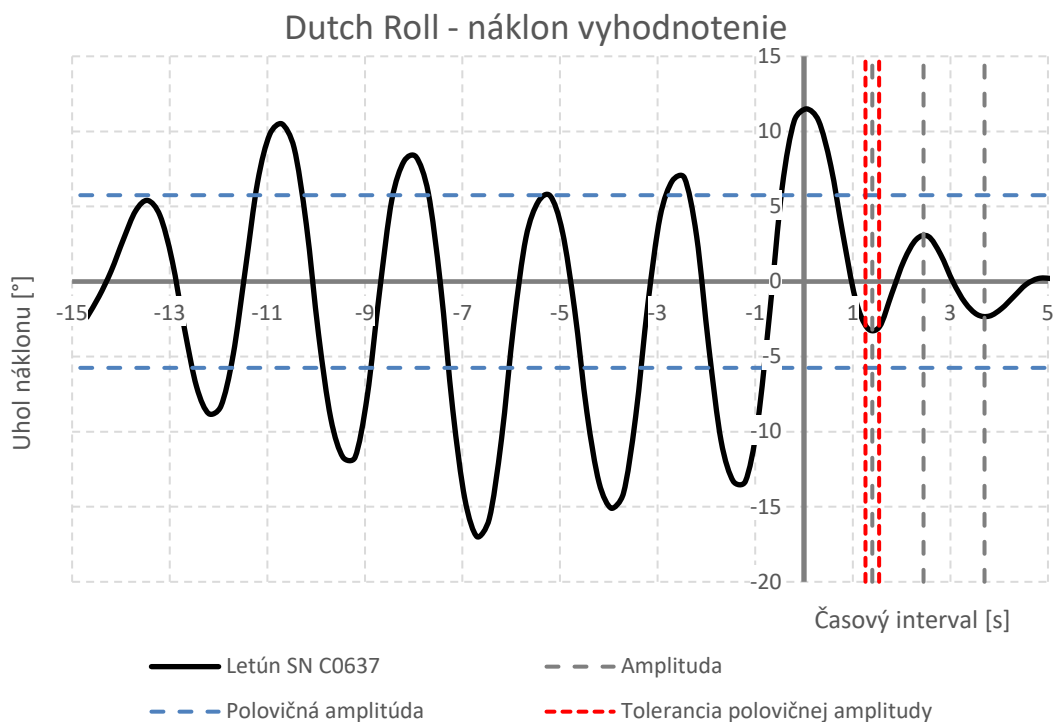
Obr. 17.2 Dutch Roll - náklon

Dutch Roll - priebeh uhlu sklzu v čase

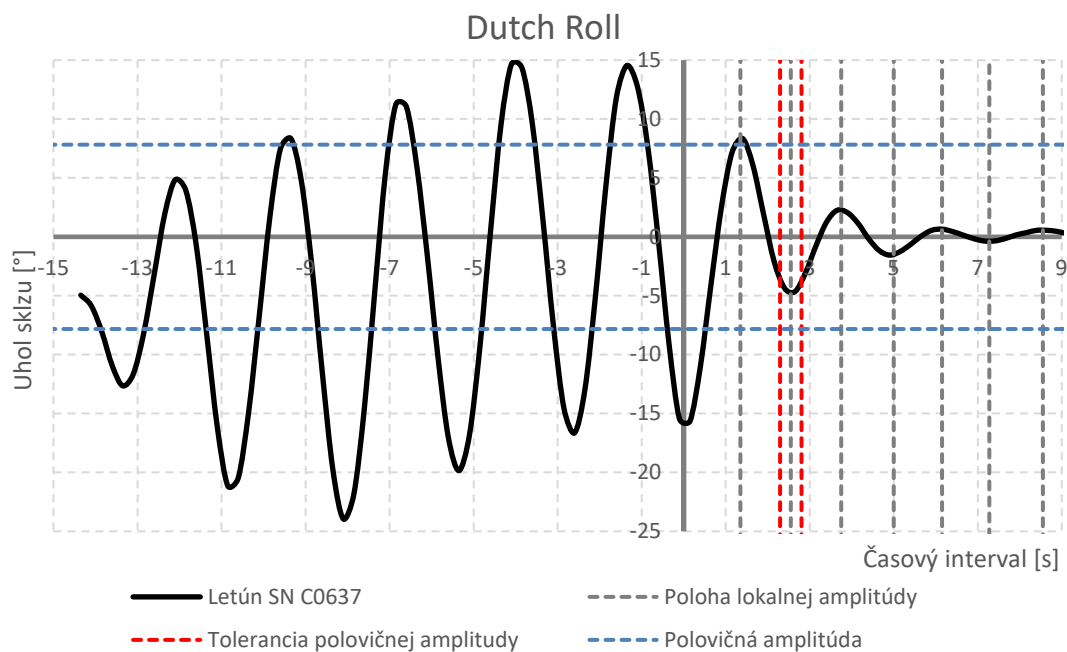


Obr. 17.3 Dutch Roll- uhol sklzu

Obr.17.4 a Obr.17.5 vyhodnocujú periódu uhlu náklonu a uhlu sklzu. Ako je možné vidieť v grafoch bolo vykonaných 6 cyklov opakovania a následne bola vyhodnotená doba do polovičnej amplitúdy.

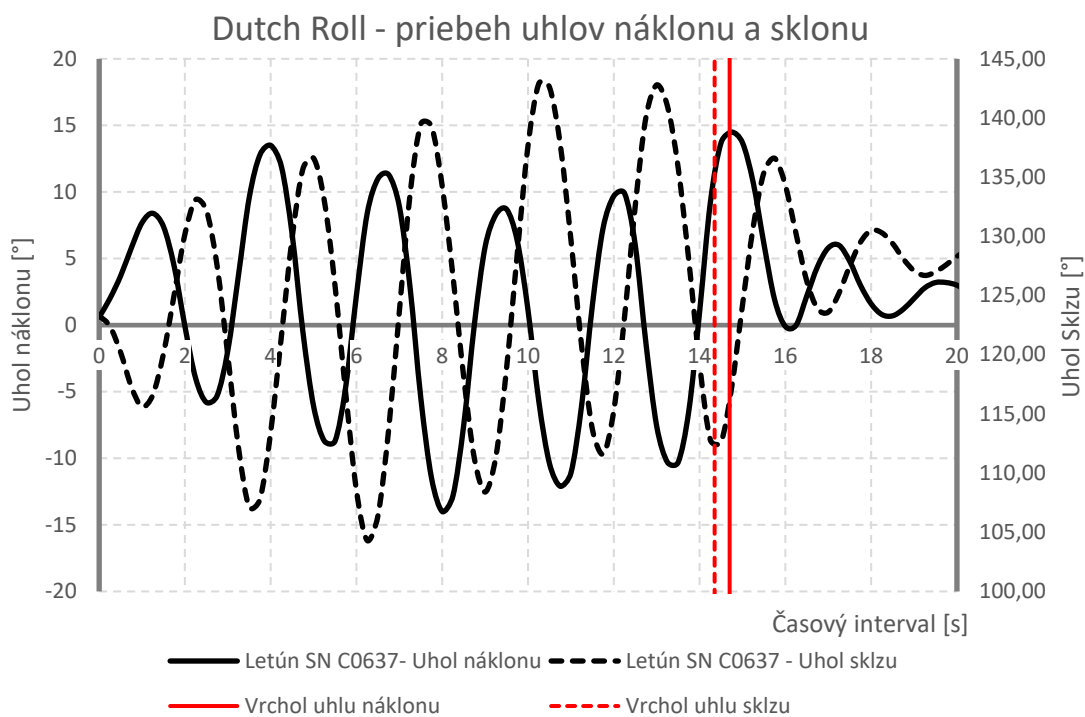


Obr. 17.4 Dutch Roll- náklon vyhodnotenie



Obr. 17.5 Dutch Roll - uhol skľazu vyhodnotenie

Obr. 17.6 zobrazuje spojenie kmitov uhlu náklonu a uhlu skľazu a časový rozdiel medzi vrcholmi uhlu skľazu a uhlu náklonu spolu s prípustnými toleranciami.



Obr. 17.6 Dutch Roll – priebeh uhlov náklonu a skľonu

V Tab.17.3 je sú zobrazené parametre odčítané z meraní.

Tab. 17.3 Odčítané parametre

Parameter	Letún		Simulátor
-	Náklon	Vybočenie	
Periódá 1	2,40 s	2,55 s	-
Periódá 2	2,30 s	2,40 s	-
Periódá 3	2,85 s	2,45 s	-
Periódá 4	-	2,40 s	-
Periódá 5	-	2,28 s	-
Periódá 6	-	2,40 s	-
Priemerná periódá	2,52	2,41	-
Maximálna amplitúda	11,50	15,65	-
Čas polovičnej amplitúdy	5,75 s	7,83 s	-
Utlmenie	5 s	9 s	-
Časový rozdiel vrcholov uhlov	0,35 s		-

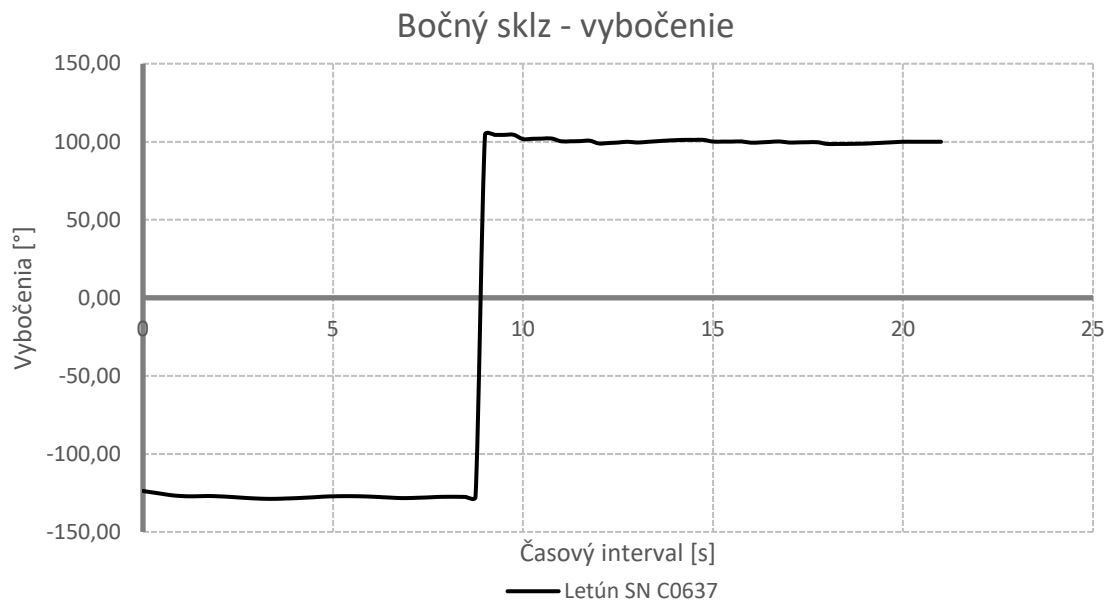
Výsledok skúšky a porovnanie výsledných hodnôt je zobrazené v Tab.17.4.

Tab. 17.4 Výsledné hodnotenie - Dutch Roll

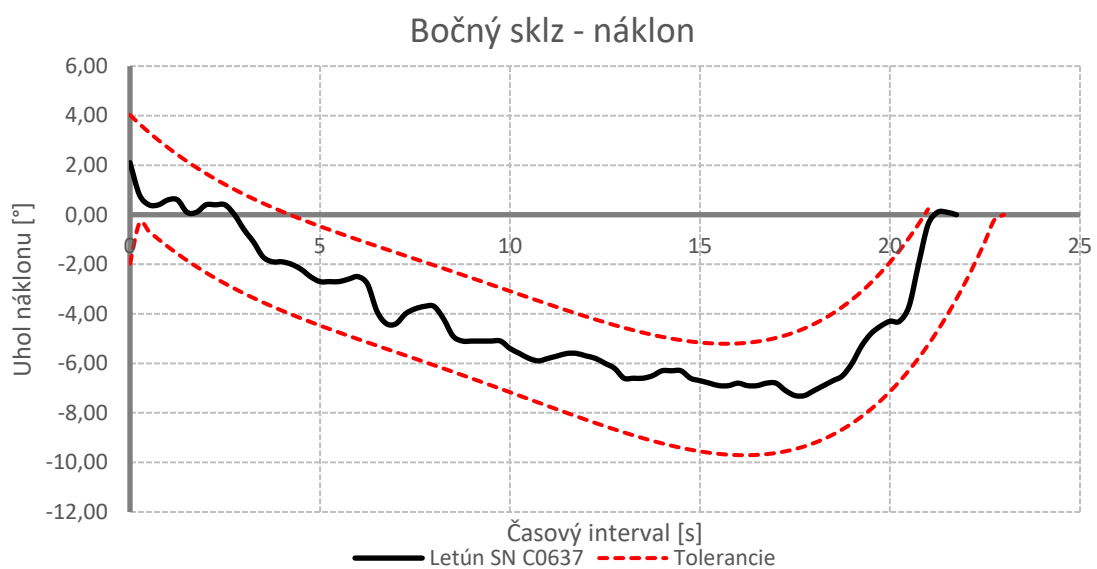
Tab. 17.4 Výsledné hodnotenie – Dutch Roll					
Kontrolované hodnoty	Tol.	Letún	Simulátor	Chyba	Hodnotenie
Periódá náklon	±10%	2,52 s	-	-	opakovať meranie
Periódá vybočenie		2,41 s		-	
Čas do polovičnej amplitúdy - náklon	±10%	5,75 s	-	-	
Čas do polovičnej amplitúdy - vybočenie		7,83 s	-	-	
Časový rozdiel vrcholov uhlov	±1s	0,35 s	-	-	
Celkové hodnotenie – Dutch Roll					
OPAKOVAŤ MERANIE					
• Pri vyhodnocovaní skúšky simulátora bolo zistené, že trend krivky neodpovedá reálnemu meraniu a nedošlo k postupnému zníženiu amplitúdy. • Pilot musel vychýliť smerové kormidlo doplna aby vyvodil Dutch Roll pričom pri meraní na reálnom letúne postačovala 1/3 výchylka smerového kormidla. Preto sa ako pri predchádzajúcich skúškach odporúča úprava výchylky smerového kormidla. • Z tohto dôvodu nedošlo k vyhodnoteniu a porovnaniu nameraných dát a odporúča sa opakovať meranie.					

17.3. Bočný sklz

Na Obr.17.7. a Obr.17.8 je zobrazený priebeh skúšky bočného sklzu v závislosti na čase. Posudzovacím parametrom tejto skúšky je uhol náklonu a uhol bočného sklzu.



Obr. 17.7 Bočný sklz- vybočenie



Obr. 17.8 Bočný sklz- náklon

Výsledok skúšky a porovnanie výsledných hodnôt je zobrazené v Tab.17.5.

Tab. 17.5 Výsledné hodnotenie - bočný sklz

Kontrolované hodnoty	Prípustná Tolerancia	Letún	Simulátor	Chyba	Hodnotenie
Vypočenie	$\pm 1^\circ$	Obr.17.7	-	-	opakovať meranie
Uhol náklonu	$\pm 2^\circ$	Obr.17.8	-	-	opakovať meranie
Celkové hodnotenie – Bočný sklz					
OPAKOVAŤ MERANIE					
Pri vyhodnocovaní skúšky simulátora bolo zistené, že trend krivky neodpovedá reálnemu meraniu z tohto dôvodu nedošlo k vyhodnoteniu a porovnaniu nameraných dát a odporúča sa opakovať meranie.					

18. HODNOTENIE MERANÍ

Tab.18.1. ukazuje výsledné hodnotenie všetkých meraní, popisuje či boli skúšky vykonané na letúne alebo simulátore. Pre porovnané vlastnosti simulátora a reálneho letúnu boli navrhnuté úpravy, ktoré treba v modeli simulátora urobiť tak aby korešpondovali s reálnym letúnom. Ak meranie nebolo uskutočnené správne, doporučuje sa meranie opakovať a priebeh skúšky nie je hodnotený.

Tab. 18.1 Zhodnotenie skúšok

No.	Úloha	Uskutočnené meranie		Spĺňa tolerancie	Navrhnutá úprava
		Letún	Simulátor		
		áno / nie / chybné		spĺňa / nespĺňa	áno / nie / opakovat'
1	Motor- decelerácia	áno	áno	nespĺňa	áno
2	Motor- akcelerácia	áno	áno	nespĺňa	áno
3	Stúpanie	áno	áno	nespĺňa	áno
4	Dynamika zmeny výkonu	áno	áno	nespĺňa	áno
5	Dynamika zmeny klapky	áno	áno	nespĺňa	opakovať meranie
6	Pozdĺžne vyváženie	áno	nie	-	opakovať meranie
7	Pádové vlastnosti	áno	áno	nespĺňa	áno
8	Fugoidálne kmity	áno	áno	nespĺňa	áno
9	Rýchle kmity	áno	áno	-	opakovať meranie
10	Odozva klonenia	áno	áno	nespĺňa	áno
11	Ovládanie klopenia	áno	áno	nespĺňa	áno
12	Špirálová stabilita	chybné	áno	-	opakovať meranie
13	Odozva kormidla	áno	áno	nespĺňa	áno
14	Dutch Roll	áno	chybné	-	opakovať meranie
15	Bočný sklz	áno	chybné	-	opakovať meranie

Overenie vlastností reálneho letúnu a simulátora prebehlo prostredníctvom pätnástich navrhovaných skúšok, ktoré boli vybrané s predpisu EASA pre zariadenia na výcvik letu. Na reálnom letúne PS-28 Cruiser prebehlo 15 skúšok, na simulátore bolo uskutočnených 14 skúšok avšak niektoré vzhľadom k ovládaniu riadenia a vyvážiteľnosti nebolo možné vyhodnotiť. Avšak vyhodnotené skúšky dostatočne preukazujú, ktoré parametre treba v modeli simulátora upraviť- patrí sem detailná kontrola aerodynamických vlastností, zmena priebehu zrýchľovania motoru ale aj zmena maximálnych výchyliek či už krídeliek alebo smerového kormidla.

18.1. Zhrnutie navrhovaných úprav

Z letových meraní vyplýva, že komerčne dostupný model virtuálneho letúnu neodpovedá certifikačným požiadavkám a predpísaným tolerančným poliam. Pre zvýšenie vernosti virtuálneho letúnu s tým fyzickým je navrhnutá séria úprav.

- Upravenie parametrov pohonnej jednotky
- Úprava aerodynamických parametrov
- Doplnenie signalizácie pred pádom
- Úprava výchyliek ovládacích plôch

Na Obr.18.1 sú zhrnuté doporučené úpravy modelu simulátora v programe X-plane 11 tak aby sa model približoval vlastnostiam reálneho letúnu PS-28 Cruiser.



Obr. 18.1 Navrhované úpravy modelu simulátora

19. ZÁVER

Preložená diplomová práca je zameraná na tému letových simulátorov a ich využitie v leteckom výcviku pre výcvik CPL pilotov podľa predpisovej základne EASA/FAA. Zadávateľom práce je firma Czech Aircraft Group, výrobca malých športových lietadiel SportCruiser a PS-28 Cruiser.

V úvode práce spracovaný prehľad typov výcvikových zariadení na simuláciu letu. Následne sú pre tieto typy spracované možnosti využitia v leteckom výcviku. Bol vybraný typ simulátora FNPT II podľa predpisovej základne EASA čomu približne zodpovedá typ FTD 5 podľa predpisov FAA. S vybraným typom je možné lietať výcvik pilotov licencie CPL(A) ako v Európe tak v Spojených štátoch amerických, kde je možné vo výcviku na lietať 5-20 hodín. Vyšší typ výcvikového zariadenia neumožňuje vyšší počet dovolených odlietaných hodín zato požiadavky na takýto typ či už z ekonomického alebo technického hľadiska sú vyššie, preto voľba vyššieho simulátora nie je prínosná.

Pre daný typ simulátora boli vybrané merania definované certifikačnou základňou, zamerané na letové vlastnosti a výkony letúnu. Na základne týchto meraní je možné porovnať či už model simulátora s reálnym letúnom ale aj základné požiadavky a obťažnosť požiadaviek predpisovej základne EASA.

Pre pätnásť vybraných letových meraní bol následne vypracovaný letový plán skúšok. Letový plán obsahuje vypracovanú metodiku pre každú skúšku taktiež rýchlosti a výšky letu, pre ktoré treba meranie vykonať.

Podľa letového plánu na reálnom letúne PS-28 Cruiser prebehlo všetkých pätnásť letových meraní, ktoré slúžia ako primárny zdroj na vypracovanie postupu vyhodnotenia týchto skúšok. Na simulátore bolo uskutočnených 14 meraní avšak niektoré vzhľadom k ovládaniu riadenia a vyvážiteľnosti nebolo možné vyhodnotiť. Vyhodnotené skúšky dostatočne ukazujú, ktoré parametre treba v modeli simulátoru upraviť.

V praktickej časti práci došlo k vyhodnoteniu letových meraní. Aby bolo možné porovnávať hodnoty namerané v reálnom letúne a na simulátore, niektorého hodnoty museli byť prepočítané na štandardnú hmotnosť, štandardné moment zotrvačnosti a vzťahnuté k medzinárodnej štandardnej atmosfére. Vo výsledných grafoch sú porovnávané štandardizované hodnoty.

Parametre modelu simulátora, ktoré je odporúčané zmeniť sú priebeh zrýchľovania pohonnej jednotky, to sa prejavilo pri skúškach akcelerácie, decelerácie a skúške dynamiky zmeny motoru, ktoré jasne ukazujú že maximálny aj minimálny vzletový výkon modelu simulátora je identický ako pri

letúne avšak priebeh je odlišný a je ho potrebné zmeniť podľa nameraných hodnôt reálneho letúnu.

Ďalej je odporúčaná detailná kontrola aerodynamických parametrov vstupujúcich do modelu simulátora ako profiláž krídla alebo chvostových plôch. Nepresnosť týchto parametrov sa prejavila pri skúškach pádových vlastností, pílových letov aj fugoidálnych kmitov.

Úpravou by mali prejsť aj maximálne výchylky riadiacich plôch. Nedostatočná výchylka smerového kormidla sa prejavila pri skúškach odozvy smerového kormidla a skúške dutch roll. Pri odozve a ovládania klonenia sa prejavila nedostatočná výchylka krídeliek, čo má za následok nedostatočnú rýchlosť uhlu klonenia oproti reálnemu letúnu.

Po úpravách modelu simulátora je možné prejsť k opakovaniu meraní a následnej ďalšej kontrole pre účely ďalšieho vývoja simulátora a jeho prípadnej certifikácie podľa požiadaviek predpisov EASA/FAA.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] CS-FSTD: Certification Specifications for Aeroplane Flight Simulation Training Devices. 1. Germany: European Aviation Safety Agency, 2018.
- [2] CODE 14 CFR Part 60: FLIGHT SIMULATION TRAINING DEVICE INITIAL AND CONTINUING QUALIFICATION AND USE. 1. United States: Federal Aviation Administration, 2019.
- [3] Simulator Levels Explained. *AST: Aviation Simulator Technology* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.ast-simulators.com.au/start-here/simulator-levels-explained>
- [4] *NARIADENIE KOMISIE (EÚ) č. 1178/2011* [online]. 2011, 25.11.2011 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011R1178&from=CS>
- [5] Czech Sport Aircraft Sportcruiser 2.1: Sportcruiser Pipersport LSA. *X-plane.org* [online]. vFlyteAir Simulations, 2015 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://forums.x-plane.org/index.php?/files/file/27407-czech-sport-aircraft-sportcruiser/>
- [6] *Frasca: Flight Simulators* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.frasca.com/fixed-wing-simulator-products/>
- [7] 4 Benefits of Flight Simulator Training When Learning to Fly. *Calaero* [online]. 12-8-2020 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://calaero.edu/benefits-flight-simulator-training/>
- [8] *FLIGHT TEST GUIDE FOR CERTIFICATION OF PART 23 AIRPLANES: 23-8C* [online]. U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, 16.11.2011, 265 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_23-8C.pdf
- [9] DIY Flight Simulator Joystick. In: *Youtube: Tom Stanton* [online]. 22.10.2020 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=SgqflcHBTwc&t=461s>
- [10] STANTON, Tom. *Flight Simulator Joystick and Rudder Pedals* [online]. 2020 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.thingiverse.com/thing:4630192>
- [11] Plane Maker Manual. *X-plane: Developer* [online]. 2021 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://developer.x-plane.com/manuals/planemaker/>
- [12] How X-Plane Works. *X-plane* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.x-plane.com/desktop/how-x-plane-works/>
- [13] FAA Regulations. *Federal Aviation Administration* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: https://www.faa.gov/regulations_policies/faa_regulations
- [14] N489SC: Czech Sport Aircraft PS-28 Cruiser. In: *JETPHOTOS* [online]. 11.10.2020 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.jetphotos.com/photo/9888963>
- [15] DANĚK, V. Mechanika letu I - Letové výkony. Mechanika letu I - Letové výkony. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2019. p. 1-300. ISBN 978-80-7623-014-9.
- [16] DANĚK, V. Mechanika letu II - Letové vlastnosti. Mechanika letu II - Letové vlastnosti. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. p. 1-334. ISBN: 978-80-7204-761- 1.

ZOZNAM JEDNOTIEK, SKRATIEK A ZNAKOV

Označenie	Jednotka	Názov
3D	-	Trojdimenzionálny
ATPL	-	Preukaz dopravného pilota (Airline Transport Pilot Licence)
BATD	-	Základné letové zariadenie (Basic Aviation Training Device)
BITD	-	Základné prístrojové zariadenie (Basic Instrument Training Device)
CAG	-	Czech Aircraft Group
CAS	-	Kalibrovaná vzdušná rýchlosť (Calibrated Air Speed)
CPL	-	Licencia obchodného pilota (Commercial pilot licence)
DYI	-	Vyrob si sám (Do it yourself)
EASA	-	European Union Aviation Safety Agency
FAA	-	Federal Aviation Administration
FNPT	-	Trenažér letových a navigačných postupov (Flight Navigation Procedures Trainer)
FSS	-	Letový simulátor (Full Flight simulator)
FSTD	-	Výcvikové zariadenie na simuláciu letu
FTD	-	Letové výcvikové zariadenie (Flight Training Device)
FTP	-	Plán letových skúšok (Flight Test Programm)
H	ft	Výška letu
IAS	kt	Indikovaná vzdušná rychlost (Indicated air speed)
IR	-	Kvalifikácia lietanie podľa prístrojov (Instrument Rating)
KIAS	kt	Indikovaná vzdušná rychlost [kt] (Indicated air speed)
m_s	kg	Skutočná hmotnosť letúnu
MSA	-	Medzinárodná štandardná atmosféra
m_t	kg	Štandardná hmotnosť letúnu
OTD	-	Iné výcvikové zariadenie (Other Training Device)
p₀	Pa	Tlak vzduchu
PC	-	Osobný počítač (Personal computer)
PPL	-	Licencia súkromného pilota (Private pilot licence)
POH	-	Letová príručka (Pilot Operational Handbook)
p_{MSA}	Pa	Tlak vzduchu podľa MSA
SAT	mm	Stredná aerodynamická tetiva
TAS		Pravá vzdušná rýchlosť (True air speed)
T₀	K	Teplota vzduchu
T_i	s	Čas od počiatočného pohybu škrtiacej klapky po 10 % odozvu kritického parametra motora
T_t	s	Celkový čas od počiatočného pohybu plynu po 90% pokles maximálneho vzletového výkonu.
T_{MSA}	K	Teplota vzduchu podľa MSA
USB	-	Univerzálna sériová zbernica (Universal Serial Bus)
v_s	kt	Skutočná rýchlosť letu

Označenie	Jednotka	Názov
v_t	kt	Štandardná rýchlosť letu
ρ_0	kg/m ³	Hustota vzduchu
ρ_{MSA}	kg/m ³	Hustotu vzduchu podľa MSA
J_s	kg·m ²	Skutočný moment zotrvačnosti letúnu
J_t	kg·m ²	Štandardný moment zotrvačnosti letúnu
ω_t	rad/s	Štandardná rýchlosť rotácie
ω_s	rad/s	Skutočná rýchlosť rotácie

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha A	Záznam FTP-S-01 (Letún SN C0637)	B
Príloha B	Záznam FTP-S-02 (Letún SN C0637)	D
Príloha C	Záznam FTP-S-03 (Letún SN C0637)	F
Príloha D	Záznam FTP-S-04 (Letún SN C0637)	H
Príloha E	Záznam FTP-S-05 (Letún SN C0637)	J
Príloha F	Záznam FTP-S-06 (Letún SN C0637)	L
Príloha G	Záznam FTP-S-01 (Simulátor).....	N
Príloha H	Záznam FTP-S-02 (Simulátor).....	P
Príloha I	Záznam FTP-S-03 (Simulátor).....	R
Príloha J	Záznam FTP-S-04 (Simulátor).....	T
Príloha K	Záznam FTP-S-05 (Simulátor).....	V
Príloha L	Záznam FTP-S-06 (Simulátor).....	X

Príloha A Záznam FTP-S-01 (Letún SN C0637)

	FT Pozemná/ Letová skúška Ground /Flight Test	FTP-S-01 Motor- akcelerácia, decelerácia, dynamika zmeny výkonu		1/2
---	--	--	--	-----

Typ letúnu	Výrobné číslo letúnu	C0637	Poznávacia značka	OK - SCD
PS-28 N Cruiser PS-28 Cruiser	Typ Motoru	Rotax 912 S2 Rotax 912 ULS2	Typ vrtule	Woodcomp Klassic170/3/R Sensenich 3B0R5R68C
SportCruiser	Výrob.č. motoru	9570043	Výrobné číslo vrtule	HUB 326/DIC 3261260 Listy 78350; 78432; 78

Pilot	Hrabinec Oľakar			Technik			
Dátum	10.5. 2022	Letisko	LKKU	Porad.č. letu	Palivo		
					L nádrž	P nádrž	Celkom
Hmotnosť	600 kg	C.G.	30,8 %	1	53	57	110
Počasie	Oblačnosť	CAVOK		Teplota/ Rosný bod	13/7 °C	QNH	1023 hPa
	Vitr	040 kt	5 kt	G / kt	°V / °	Dohľadnosť	>10 km
Povolenie	RWY	02C	Priestor	VÝCHOD	Nadmors. výška	5000 ft/FL	XPDR 7000
Hobbs	65.0	Čas nahodenia	6:43 UTC hh:mm	Čas pojazdu	UTC hh:mm	Čas vzletu	6:54 UTC hh:mm

Motorová skúška pred vzletom					
Max. otáčky motoru na zemi	5050 ot/min	Plniaci tlak	29.2 inHg	Voľnobeh	1660 ot/min
Tlak oleja	3,8 bar	Teplota oleja	81 °C	Tlak paliva	0.33 bar

Pozemná skúška- decelerácia		
Čas zahájenia skúšky	6:54:00	-
Čas T _t *	/	s
Maximálne otáčky	4980	ot/min
Čas ukončenia skúšky	6:54:10	-
Poznámky: * Celkový čas od počiatočného pohybu plynu po 90% pokles maximálneho vzletového výkonu PŘESUN PLYNOVÉ PÁTKY Z MAX. NA VOLNOBEH = cca 1s		

Letová skúška- acelerácia		
Čas zahájenia skúšky	8:04:16 / 8:09:13	-
Čas T _t *	/ /	s
Maximálne otáčky	5130 / 5080	ot/min
Čas ukončenia skúšky	8:09:50 / 8:09:38	-
Poznámky: * Celkový čas od počiatočného pohybu plynu po 90% pokles maximálneho vzletového výkonu		

Príloha A1: Motor- akcelerácia, decelerácia, dynamika zmeny výkonu

	FT Pozemná/ Letová skúška Ground /Flight Test	FTP-S-01 Motor- akcelerácia, decelerácia, dynamika zmeny výkonu	2/2
---	--	--	-----

Dynamika zmeny výkonu					
Čas zahájenia skúšky	7:16:25				-
Počiatkový výkon motoru <i>otáčky</i>	2150				ot/min
Maximálny trvalý výkon motoru <i>otáčky</i>	5750				ot/min
Čas ukončenia skúšky	7:17:36				-
Poznámky: PRESUN PLYNOVEJ PAJKY Z MAX NA VOLNOBEH = 6ca 1s					
Palivo koncový stav	L nádrž	P nádrž	Celkom	Spotreba	Zostatok
	32	57	89	24,9	85,1
Čas	Pristátie	Vypnutie	Hobbs	Doba letu	Doba celkom
	8:35	8:38	66,9	1:42	1:55
Vyhodnotenie letu					
Miesto	Dátum	Zkušobný pilot		Zkušobný technik	
KUNOVICE	10. 5. 2022				

Príloha A2: Motor- akcelerácia, decelerácia, dynamika zmeny výkonu

Príloha B Záznam FTP-S-02 (Letún SN C0637)

	FT Letová skúška Flight Test	FTP-S-02 Stúpanie-pilové lety	1/2
---	---	---	-----

Typ letúnu	Výrobné číslo letúnu	C0637	Poznávacia značka	OK - SCD	
PS-28 N Cruiser	Typ Motoru	Rotax 912 S2	Typ vrtule	Woodcomp Klassic170/3/R	
PS-28 Cruiser		Rotax 912 ULS2		Sensenich 3B0R5R68C	
SportCruiser	Výrob.č. motoru	9570043	Výrobné číslo vrtule	HUB 326101C / 326126C Listy 78350 / 78432 / 78454	
Pilot	Hrabinec Otakar		Technik		
Dátum	11.5.2022	Letisko	LKKU	Porad.č. letu	
Hmotnosť	600 kg	C.G.	30,8%	2	
Počasie	Oblačnosť	CAVOK	Teplota/Rosný bod	14/9 °C	
	Vitr	klid	Dohľadnosť	>10 km	
Povolenie	RWY	20C	Priestor	VÝCHOD	
Hobbs	66,9	Čas nahodenia	6:19 UTC	Čas pojazdu	
				Čas vzletu	
				6:31 UTC	
Pilové lety					
No.	Úkon	Čas (začiatok úkonu)	Výška (začiatok úkonu)	Rýchlosť	
-	-	-	[ft]	[kt]	
1	Stúpanie	6:38:11	1500 ft	55	
	Klesanie	6:40:33	2500 ft		
	Stúpanie	6:43:51	1500 ft		
	Klesanie	6:46:06	2500 ft		
2	Stúpanie	6:51:02	1500 ft	65	
	Klesanie	6:53:09	2500 ft		
	Stúpanie	6:56:01	1500 ft		
	Klesanie	6:58:00	2500 ft		
3	Stúpanie	7:02:18	1500 ft	75	
	Klesanie	7:04:18	2500 ft		
	Stúpanie	7:06:49	1500 ft		
	Klesanie	7:08:52	2500 ft		
				Teplota	Poznámky
				18	/
				18	/
				17	/
				19	/
				19	/
				19	/
				18	/
				19	/
				19	/
				18	/
				19	/

Príloha B1:Stúpanie-pilové lety

 CRUISER AIRCRAFT	FT Letová skúška Flight Test	FTP-S-02 Stúpanie-pilové lety	2/2
--	---	---	-----

No.	Úkon	Čas (začiatok úkonu)	Výška (začiatok úkonu)	Rýchlosť	Teplota	Poznámky
-	-	-	[ft]	[kt]	[°]	-
4	Stúpanie	7:12:46	1500 ft	85	19	/
	Klesanie	7:15:01	2500 ft		19	/
	Stúpanie	7:17:21	1500 ft		19	/
	Klesanie	7:19:32	2500 ft		19	/
5	Stúpanie	7:23:05	1500 ft	95	19	/
	Klesanie	7:25:53	2500 ft		20	/
	Stúpanie	7:28:31	1500 ft		19	/
	Klesanie	7:31:11	2500 ft		20	/
Palivo koncový stav		L nádrž	P nádrž	Celkom	Spotreba	Zostatok
		38	45+	84	20,1	89,9
Čas		Pristátie	Vypnutie	Hobbs	Doba letu	Doba celkom
		7:40	7:51	68,4	1:17	1:32
Vyhodnotenie letu						
Miesto		Dátum		Zkušobný pilot		Zkušobný technik
KUNOVICE		11. 5. 2022				

Príloha B2:Stúpanie-pilové lety

Príloha C Záznam FTP-S-03 (Letún SN C0637)

	FT Letová skúška Flight Test	FTP-S-03 Vyvážiteľnosť, Pádové rychlosti, Dynamika zmeny klapky		1/2
---	---	--	--	-----

Typ letúnu	Výrobné číslo letúnu	C0637	Poznávací značka	OK - SCD
PS-28 N Cruiser PS-28 Cruiser SportCruiser	Typ Motoru	Rotax 912 S2 (Rotax 912 ULS2)	Typ vrtule	Woodcomp Klassic170/3/R Sensenich 3B0R5R68C
	Výrob.č. motoru	9570043	Výrobní číslo vrtule	HUB 3261014 326126C Listy 78350, 78432, 78454
Pilot	Hrabinec Oskar		Technik	
Dátum	10.5.2022	Letisko	LKKU	Porad.č. letu
				Palivo
				L nádrž
				P nádrž
				Celkom
Hmotnosť	600 kg	C.G.	30,8 %	1
				53
				57
				110
Počasí	Oblačnosť	CAVOK	Teplota/Rosný bod	13/7 °C
				QNH
				1023 hPa
	Vitr	040 °/ 5 kt	G / kt / °V	Dohľadnosť
				>10 km
Povolenie	RWY	02C	Priestor	VÝCHOD
			Nadmors. výška	5000 ft/FL
				XPDR
				7000
Hobbs	65.0	Čas nahodenia	6:43 UTC hh:mm	Čas pojiždení
				UTC hh:mm
				Čas vzletu
				6:54 UTC hh:mm
Dynamika zmeny klapky (vzlatová konfigurácia)				
Čas- rozjazdu	Rýchlosť nadzdvihnutia	Klapky	Otáčky motoru	Čas- zatiahnutie klapiek
-	KIAS	[°]	ot/min	-
6:54:15	42-43	10	4980	6:54:48
Poznámky:				
Vyvážiteľnosť				
Čas- začiatok manévru	Hlavný rýchlomer	Záložný rýchlomer	Uhol nábehu	Výkon motoru
				Výchylka výškového kormidla
7:20:15	75 KIAS	/	2,5 °	4310
7:25:00	60 KIAS	/	5 °	3800
Poznámky:				
Čas ukončenia skúšky				

Príloha C1: Vyvážiteľnosť, Pádové rychlosti, Dynamika zmeny klapky

 CRUISER AIRCRAFT	FT Letová skúška Flight Test	FTP-S-03 Vývážiteľnosť, Pádové rychlosti, Dynamika zmeny klapky	2/2
--	---	--	-----

Pádové vlastnosti											
Klapky	Vstup. Rych.	Rýchlosť varovania KIAS					Pitch angle	Bank angle	-	Pádová rýchlosť	
		čas	Systém varovania pred pádom		Hlavný rýchlometer	Záložný rýchlometer				Hlavný rýchlometer	Záložný rýchlometer
			Nie	Áno							
0°	62	/	39-43	39-48	44 43 43	/	/	/	36±2	36 35 35-36	/
12°	59	/	37-41	37-46	40 40 40	/	/	/	34±2	33-34 34 33	/
30°	53	/	33-37	33-42	36 36 36	/	/	/	30±2	30 30 30	/
Pádové vlastnosti – zatáčka 30°											
0°	62	/	39-43	39-48	/	/	/	-	36±2	/	/
Poznámky: ČAS ZAHĽAJENÍ SKOŤSKÝ: 6:59:47 ČAS UKONČENÍ SKOŤSKÝ: 7:15:20											
Palivo koncový stav		L nádrž	P nádrž	Celkom	Spotreba	Zostatok					
		32	57	89	24,9	85,1					
Čas		Pristátie	Vypnutie	Hobbs	Doba letu	Doba celkom					
		8:35	8:38	66,9	1:42	1:55					
Vyhodnotenie letu											
Miesto		Dátum		Zkušobný pilot		Zkušobný technik					
KUNOVICÉ		10.5.2022									

Príloha D Záznam FTP-S-04 (Letún SN C0637)

	FT Letová skúška Flight Test	FTP-S-04 Rýchle kmity, fugoidálne kmity		1/1
---	---	---	--	-----

Typ letúnu	Výrobné číslo letúnu	C0637	Poznávacia značka	OK - 5CD
PS-28 N Cruiser PS-28 Cruiser SportCruiser	Typ Motoru	Rotax 912 S2 Rotax 912 ULS2	Typ vrtule	Woodcomp Klassic170/3/R Sensenich 3B0R5R68C
	Výrob.č. motoru	957 0043	Výrobné číslo vrtule	HUB 326101C / 326126C Listy 78359, 78432, 78454
Pilot	Hrabinec Oľakar		Technik	
Dátum	10.5.2022	Letisko	LKKU	Porad.č. letu
Hmotnosť	600 kg	C.G.	30,8 %	1
Počasie	Oblačnosť	CAVOK	Teplota/Rosný bod	13/7 °C
	Vítr	040 5 kt	G	kt/ °V
Povolenie	RWY 02C	Priestor	VÝCHOĐ	Nadmors. výška
Hobbs	65.0	Čas nahodenia	6:43 UTC	Čas pojazdu
			UTC hh:mm	UTC hh:mm
			Čas vzletu	6:54 UTC
			hh:mm	hh:mm
Fugoidálne kmity (oscilace min. 90s)				
Čas-začiatok manévru	Rychlost' - vyvážený letún	Vstupný uhol sklonu (pitch angle)	Vstupná rychlost'	Čas-ukončenie manévru
-	KIAS	[°]	KIAS	-
7:30:20	doporučená 75 skutočná 75	doporučený 10 skutočný 10	doporučená 60 skutočná 60	7:32:45
7:35:15	doporučená 75 skutočná 75	doporučený -10 skutočný -10	doporučená 90 skutočná 90	7:37:40
Poznámky: 3 kmity i cca 2:00 min				
Rýchle kmity (oscilace min. 90s)				
Čas-začiatok manévru	Vstupná rychlost'	Čas-ukončenie manévru		
-	KIAS	-		
7:40:00	doporučená 75 skutočná 75	7:41:00		
Poznámky: 3 pokusy				

Príloha D1: Rýchle kmity, fugoidálne kmity

 CRUISER AIRCRAFT	FT Letová skúška <i>Flight Test</i>	FTP-S-04 <i>Rýchle kmity, fugoidálne kmity</i>	2/2
--	--	--	-----

Palivo koncový stav	L nádrž	P nádrž	Celkom	Spotreba	Zostatok
	52	57	89	24,9	85,1
Čas	Pristátie	Vypnutie	Hobbs	Doba letu	Doba celkom
	8:35	8:38	66.9	1:42	1:55
Vyhodnotenie letu					
Miesto	Dátum	Zkušobný pilot		Zkušobný technik	
KUNOVICE	10.5.2022				

Príloha D2: Rýchle kmity, fugoidálne kmity

Príloha E Záznam FTP-S-05 (Letún SN C0637)

	FT Letová skúška Flight Test	FTP-S-05 Odozva klonenia, Ovládanie klonenia, Špirálová stabilita	1/2
---	---	---	-----

Typ letúnu	Výrobné číslo letúnu	C0637		Poznávací značka	OK - SCD		
PS-28 N Cruiser	Typ Motoru	Rotax 912 S2		Typ vrtule	Woodcomp Classic170/3/R		
PS-28 Cruiser		Rotax 912 ULS2			Sensenich 3B0R5R68C		
SportCruiser	Výrob.č. motoru	9570043		Výrobné číslo vrtule	HUB 3261014326126C Listy 78350, 78432, 78454		
Pilot	Hrabinec Oľakar			Technik			
Dátum	10.5.2022	Letisko	LKKV	Porad.č. letu	Palivo		
					L nádrž	P nádrž	Celkom
Hmotnosť	600 kg	C.G.	30,8%	1	53	57	110
Počasie	Oblačnosť	CAVOK		Teplota/Rosný bod	13/7 °C	QNH	1023 hPa
	Vitr	040 kt	5 kt	G / kt / °V	Dohľadnosť > 10 km		
Povolenie	RWY 02C	Priestor	VÝCHOD	Nadmors. výška	5000 ft/FL	XPDR	7000
Hobbs	65.0	Čas nahodenia	6:43 UTC hh:mm	Čas pojazdu	UTC hh:mm	Čas vzletu	654 UTC hh:mm
Odozva klonenia							
Čas- začiatok manévru		Vstupná rýchlosť		Priečny náklon vpravo/vľavo (bank angle)		Čas- ukončenie manévru	
-		KIAS		[°]		-	
Klonení doprava 7:42:00		doporučená 75	skutočná 75	doporučený 30	skutočná 20	7:42:16	
Poznámky: klonení doľava 75 20 7:43:12 7:43:00 - OMYLEN NASTAVEN NÁKLON 20° (Prava; Ľava)							
Ovládanie klonenia (voľná odozva mín.10s)							
Čas- začiatok manévru		Vstupná rýchlosť		Priečny náklon vpravo/vľavo (bank angle)		Čas- ukončenie manévru	
-		KIAS		[°]		-	
Klonení doprava 7:45:00		doporučená 75	skutočná 75	doporučený 30	skutočná 20	7:45:15	
Poznámky: klonení doľava 75 20 7:46:33 7:46:22 - OMYLEN NASTAVEN NÁKLON 20° (Prava; Ľava)							

Príloha E1: Odozva klonenia, Ovládanie klonenia, Špirálová stabilita

	FT Letová skúška <i>Flight Test</i>	FTP-S-05 Odozva klonenia, Ovládanie klonenia, Špirálová stabilita	2/2
---	--	--	-----

Špirálová stabilita (zátačka 360°)						
Zatáčka	Čas- začiatok manévru	Vstupná rychlosť		Zatáčka – priečny náklon		Čas- ukončenie manévru
-	-	KIAS		[°]		-
vpravo	7:48:20	doporučená	skutočná	doporučený	skutočný	7:49:40
		75	75	30	20	
vľavo	7:50:25	doporučená	skutočná	doporučený	skutočný	7:51:40
		75	75	30	20	
Poznámky: - OMYLEN NASTAVEN NÁKLON 20° (Prava' i Leva')						
Palivo koncový stav	L nádrž	P nádrž	Celkom	Spotreba	Zostatok	
	32	57	89	24,9	85,1	
Čas	Pristátie	Vypnutie	Hobbs	Doba letu	Doba celkom	
	8:35	8:38	66,9	1:42	1:55	
Vyhodnotenie letu						
Miesto	Dátum		Zkušobný pilot		Zkušobný technik	
KUNDOVICE	10.5.2022					

Príloha E2: Odozva klonenia, Ovládanie klonenia, Špirálová stabilita

Príloha F Záznam FTP-S-06 (Letún SN C0637)

		FT Letová skúška Flight Test		FTP-S-06 Odozva smerového kormidla, Dutch Roll, Bočný sklz		1/2	
---	--	---	--	---	--	-----	--

Typ letúnu		Výrobné číslo letúnu		C0637		Poznávacia značka		OK - SCD	
PS-28 N Cruiser		Typ Motoru		Rotax 912 S2		Typ vrtule		Woodcomp Klassic170/3/R	
PS-28 Cruiser / SportCruiser		Výrob.č. motoru		9570043		Výrobní číslo vrtule		Sensenich 3B0R5R68C	
								HUB 326101C / 326126C	
								Listy 78350, 78432, 78454	
Pilot		Hrabinec Otakar				Technik			
Dátum		10.5.2022		Letisko		LKKV		Porad.č. letu	
Hmotnosť		600 kg		C.G.		30,8%		1	
								53	
								57	
								110	
Počasí		Oblačnosť		CAVOK		Teplota/ Rosný bod		13/7 °C	
		Vitr		040				QNH	
				5 kt				1023 hPa	
								Dohľadnosť	
								> 10 km	
Povolenie		RWY		02C		Priestor		VÝCHOD	
								Nadmors. výška	
								5000 ft/FL	
								XPDR	
								7000	
Hobbs		65.0		Čas nahodenia		6:43 UTC		Čas pojiždení	
								UTC hh:mm	
								Čas vzletu	
								6:54 UTC	
								hh:mm	

Odozva smerového kormidla				
Zatáčka	Čas- začiatok manévru	Vstupná rýchlosť		Výchylka smerového kormidla
		KIAS		
		doporučená	skutočná	[°]
-	-	-	-	-
vpravo	7:53:05	75	75	10
	7:53:13	75	74	30
vľavo	7:54:13	75	75	10
	7:54:22	75	74	30

Poznámky:

Dutch Roll (oscilácia min. 90s)			
Čas- začiatok manévru	Vstupná rýchlosť		Výchylka smerového kormidla
	KIAS		
	doporučená	skutočná	[°]
-	-	-	-
7:56:14	75	75	10

Poznámky:

7:59:00 75 75 30 7:59:20

Príloha F1:Odozva smerového kormidla, Dutch Roll, Bočný sklz

 CRUISER AIRCRAFT	FT Letová skúška <i>Flight Test</i>	FTP-S-06 Odozva smerového kormidla, <i>Dutch Roll, Bočný sklz</i>	2/2
--	--	--	-----

Bočný sklz					
Čas- začiatok manévru	Vstupná rýchlosť	Počiatočná poloha voči stredu dráhy	Bank angle	Sideslip angle	Čas- ukončenie manévru
-	KIAS	-	[°]	[°]	-
8:23:20	60	vpravo	/	/	8:23:50
8:24:00	60	vľavo	/	/	8:24:22
Poznámky:					
Palivo koncový stav	L nádrž	P nádrž	Celkom	Spotreba	Zostatok
	32	57	89	24,9	85,1
Čas	Pristátie	Vypnutie	Hobbs	Doba letu	Doba celkom
	8:35	8:38	66,9	1:42	1:55
Vyhodnotenie letu					
Miesto	Dátum		Zkušobný pilot	Zkušobný technik	
KUNOVICE	10.05.2022				

Príloha G Záznam FTP-S-01 (Simulátor)

URANOS R&D		FT Pozemná/ Letová skúška Ground /Flight Test		FTP-S-01 Motor- akcelerácia, decelerácia, dynamika zmeny výkonu			1/2	
----------------------	--	--	--	--	--	--	-----	--

Typ letúnu	Výrobné číslo letúnu	Poznávacia značka						
PS-28 N Cruiser PS-28 Cruiser SportCruiser	Typ Motoru Rotax 912 S2 Rotax 912 ULS2	Typ vrtule		Woodcomp Klassic170/3/R Sensenich 3B0R5R68C				
	Výrob.č. motoru	Výrobné číslo vrtule		HUB		Listy		
Pilot	Filip Sklenář			Technik	Tatiana Kminiaková			
Dátum	16.05.2022	Letisko	LKKU	Porad.č. letu	Palivo			
					L nádrž	P nádrž	Celkom	
Hmotnosť	600 kg	C.G.	30,8%	1	53	57	110	
Počasie	Oblačnosť	CAVOK		Teplota/ Rosný bod	18 °C	QNH	1023 hPa	
	Vitr	0,1 kt	G	kt/ °V	Dohľadnosť		km	
Povolenie	RWY	Priestor	Nadmors. výška	ft/FL	XPDR			
Hobbs	Čas nahodenia	UTC hh:mm	Čas pojazdu	UTC hh:mm	Čas vzletu	UTC hh:mm		

Motorová skúška pred vzletom			
Max. otáčky motoru na zemi	Plniaci tlak	Voľnobeh	
Tlak oleja	Teplota oleja	Tlak paliva	

Pozemná skúška- decelerácia		
Čas zahájenia skúšky	8:00:00	-
Čas T ₁ *		s
Maximálne otáčky	5450	ot/min
Čas ukončenia skúšky	8:03:00	-
Poznámky: * Celkový čas od počiatočného pohybu plynu po 90% pokles maximálneho vzletového výkonu		

Letová skúška- acelerácia		
Čas zahájenia skúšky	8:22:39	-
Čas T ₁ *		s
Maximálne otáčky	5100	ot/min
Čas ukončenia skúšky	8:25:23	-
Poznámky: * Celkový čas od počiatočného pohybu plynu po 90% pokles maximálneho vzletového výkonu		

Príloha G1: Motor- Akcelerácia, Decelerácia, Dynamika zmeny výkonu

URANOS R&D	FT Pozemná/ Letová skúška Ground /Flight Test	FTP-S-01 Motor- akcelerácia, decelerácia, dynamika zmeny výkonu	2/2
----------------------	--	--	-----

Dynamika zmeny výkonu					
Čas zahájenia skúšky	8 : 33 : 03				-
Počiatkový výkon motoru	2000				ot/min
Maximálny trvalý výkon motoru	5400				ot/min
Čas ukončenia skúšky	8 : 35 : 54				-
Poznámky:					
Palivo koncový stav	L nádrž	P nádrž	Celkom	Spotreba	Zostatok
Čas	Pristátie	Vypnutie	Hobbs	Doba letu	Doba celkom
Vyhodnotenie letu					
Miesto	Dátum	Zkušobný pilot		Zkušobný technik	

Príloha G2: Motor- Akcelerácia, Decelerácia, Dynamika zmeny výkonu

Príloha H Záznam FTP-S-02 (Simulátor)

URANOS R&D	FT Letová skúška Flight Test	FTP-S-02 Stúpanie-pílové lety	1/2
---------------	------------------------------------	----------------------------------	-----

Typ letúnu		Výrobné číslo letúnu		/		Poznávacia značka		/			
PS-28 N Cruiser PS-28 Cruiser SportCruiser		Typ Motoru		Rotax 912 S2 Rotax 912 ULS2		Typ vrtule		Woodcomp Klassic170/3/R Sensenich 3B0R5R68C			
		Výrob.č. motoru		/		Výrobné číslo vrtule		HUB	/		
								Listy	/		
Pilot		Filip Sklenář				Technik		Tatiana Kmíniaková			
Dátum		16.05.2022	Letisko		LKKV	Porad.č. letu		Palivo			
								L nádrž	P nádrž	Celkom	
Hmotnosť		600 kg	C.G.		30,8 %	2		53	57	110	
Počasie		Oblačnosť		CAVOK			Teplota/ Rosný bod		18 °C	QNH	1023 hPa
				F ft/s ft/V ft							
		Vitr	0 °/	0 kt	G kt/		°V °		Dohľadnosť		/ km
Povolenie		RWY	/	Priestor		/		Nadmors. výška		ft/FL XPDR /	
Hobbs		/		Čas nahodenia		/ UTC hh:mm		Čas pojazdu		/ UTC hh:mm	
								UTC hh:mm		Čas vzletu / UTC hh:mm	

Pílové lety

No.	Úkon	Čas (začiatok úkonu)	Výška (začiatok úkonu)	Rýchlosť	Teplota	Poznámky
			[ft]	[kt]	[°]	
1	Stúpanie	7:14:00	1300 ft	55	18	/
	Klesanie	7:18:00	2700 ft		18	/
	Stúpanie	/	/		/	/
	Klesanie	/	/		/	/
2	Stúpanie	7:20:00	1300 ft	65	18	/
	Klesanie	7:23:00	2700 ft		18	/
	Stúpanie	/	/		/	/
	Klesanie	/	/		/	/
3	Stúpanie	7:25:00	1420 ft	75	18	/
	Klesanie	7:28:00	2700 ft		18	/
	Stúpanie	/	/		/	/
	Klesanie	/	/		/	/

Príloha H1: Stúpanie - Pílové lety

URANOS R&D	FT Letová skúška Flight Test	FTP-S-02 Stúpanie-pílové lety	2/2
----------------------	---	---	-----

No.	Úkon	Čas (začiatok úkonu)	Výška (začiatok úkonu) [ft]	Rýchlosť [kt]	Teplota [°]	Poznámky
-	-	-	[ft]	[kt]	[°]	-
4	Stúpanie	7:30:00	1200 ft	85	18	/
	Klesanie	7:34:00	2700 ft		18	/
	Stúpanie	/	/		/	/
	Klesanie	/	/		/	/
5	Stúpanie	7:35:00	1080 ft	95	18	/
	Klesanie	7:40:00	2700 ft		18	/
	Stúpanie	/	/		/	/
	Klesanie	/	/		/	/
Palivo konečný stav		L nádrž	P nádrž	Celkom	Spotreba	Zostatok
Čas		Pristátie	Vypnutie	Hobbs	Doba letu	Doba celkom
Vyhodnotenie letu						
Miesto		Dátum		Zkušobný pilot		Zkušobný technik

Príloha H2: Stúpanie - Pílové lety

Príloha I Záznam FTP-S-03 (Simulátor)

URANOS R&D	FT Letová skúška Flight Test	FTP-S-03 Vyvážiteľnosť, Pádové rychlosti, Dynamika zmeny klapky	1/2
----------------------	---	--	-----

Typ letúnu	Výrobné číslo letúnu	/		Poznávací značka	/		
PS-28 N Cruiser PS-28 Cruiser SportCruiser	Typ Motoru	Rotax 912 S2 Rotax 912 ULS2	Typ vrtule		Woodcomp Klassic170/3/R Sensenich 3B0R5R68C		
	Výrob.č. motoru	/	Výrobní číslo vrtule	HUB	/		
				Listy	/		
Pilot	Filip Sklenář			Technik	Tatiana Kminiaková		
Dátum	16.5.2022	Letisko	LKKV	Porad.č. letu	Palivo		
					L nádrž	P nádrž	Celkom
Hmotnosť	600 kg	C.G.	30,8%	3	53	57	110
Počasí	Oblačnosť	CAVOK		Teplota/Rosný bod	18 °C	QNH	1023 hPa
	Vitr	0 kt	0 kt	G	kt	°V	Dohľadnosť km
Povolenie	RWY	/	Priestor	/	Nadmors. výška	/	XPDR /
Hobbs	/	Čas nahodenia	/	UTC hh:mm	Čas pojitídení	/	UTC hh:mm
					Čas vzletu	/	UTC hh:mm
Dynamika zmeny klapky (vzletová konfigurácia)							
Čas- rozjazdu	Rýchlosť nadzdvihnutia	Klapky	Otáčky motoru	Čas- zatiahnutie klapiek			
-	KIAS	[°]	ot/min	-			
7:04:48	70	10	/	7:05:50			
Poznámky: Pristávací konfigurácia							
7:41:00	70	10	/	7:45:00			
Vyvážiteľnosť							
Čas- začiatok manévru	Hlavný rýchlomer	Záložný rýchlomer	Uhol nábehu	Výkon motoru	Výchylka výškového kormidla		
	75 KIAS						
	60 KIAS						
Poznámky:							

Príloha I1: Vyvážiteľnosť, Pádové rychlosti, Dynamika Zmeny klapky

URANOS R&D	FT Letová skúška Flight Test	FTP-S-03 Vyvážiteľnosť, Pádové rychlosti, Dynamika zmeny klapky	2/2
----------------------	---	--	-----

Pádové vlastnosti																																																			
Klapky	Vstup. Rych. KIAS	Rýchlosť varovania KIAS					Pitch angle [°]	Bank angle [°]	-	Pádová rýchlosť																																									
		čas	Systém varovania pred pádom		Hlavný rýchlomer	Záložný rýchlomer				Hlavný rýchlomer KIAS	Záložný rýchlomer KIAS																																								
			Nie	Áno																																															
0°	62	7:11:00	39-43	39-48	49	/	/	/	36±2	/	/																																								
12°	59	7:18:00	37-41	37-46	45	/	/	/	34±2	/	/																																								
30°	53	7:31:00	33-37	33-42	46	/	/	/	30±2	/	/																																								
Pádové vlastnosti- zatáčka 30°																																																			
0°	62	/	39-43	39-48	/	/	-	-	36±2	/	/																																								
Poznámky:																																																			
<table border="1"> <tr> <td rowspan="2">Palivo koncový stav</td> <td>L nádrž</td> <td>P nádrž</td> <td>Celkom</td> <td>Spotreba</td> <td>Zostatok</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Čas</td> <td>Pristátie</td> <td>Vypnutie</td> <td>Hobbs</td> <td>Doba letu</td> <td>Doba celkom</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="6">Vyhodnotenie letu</td> </tr> <tr> <td>Miesto</td> <td colspan="2">Dátum</td> <td>Zkušobný pilot</td> <td colspan="2">Zkušobný technik</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="2"></td> <td></td> <td colspan="2"></td> </tr> </table>												Palivo koncový stav	L nádrž	P nádrž	Celkom	Spotreba	Zostatok						Čas	Pristátie	Vypnutie	Hobbs	Doba letu	Doba celkom						Vyhodnotenie letu						Miesto	Dátum		Zkušobný pilot	Zkušobný technik							
Palivo koncový stav	L nádrž	P nádrž	Celkom	Spotreba	Zostatok																																														
Čas	Pristátie	Vypnutie	Hobbs	Doba letu	Doba celkom																																														
Vyhodnotenie letu																																																			
Miesto	Dátum		Zkušobný pilot	Zkušobný technik																																															

Príloha J Záznam FTP-S-04 (Simulátor)

URANOS R&D		FT Letová skúška Flight Test		FTP-S-04 Rýchle kmity, fugoidálne kmity		1/1	
---------------	--	------------------------------------	--	--	--	-----	--

Typ letúnu		Výrobné číslo letúnu		Poznávací značka			
PS-28 N Cruiser		Typ Motoru		Rotax 912 S2		Woodcomp Klassic170/3/R	
PS-28 Cruiser				Rotax 912 ULS2		Sensenich 3B0R5R68C	
SportCruiser		Výrob.č. motoru		Výrobné číslo vrtule		HUB Listy	
Pilot		Filip Sklenář		Technik		Tatiana Kminiaková	
Dátum		16. 05. 2022		Letisko		LKLU	
				Porad.č. letu		Palivo	
						L nádrž P nádrž Celkom	
Hmotnosť		600 kg		C.G.		30,8 %	
				4		53 57 110	
Počasie		Oblačnosť		CAVOK		Teplota/Rosný bod	
		F ft/s ft/B ft/O ft		18 °C QNH		1023 hPa	
		Vitr		0 kt		Dohľadnosť	
		0 kt		G kt		/ km	
Povolenie		RWY		Priestor		Nadmors. výška	
						ft/FL XPDR	
Hobbs		Čas nahodenia		UTC hh:mm		Čas pojazdu	
						UTC hh:mm Čas vzletu UTC hh:mm	
Fugoidálne kmity (oscilácie min. 90s)							
Čas-začiatok manévru		Rychlosť – vyvážený letún		Vstupný uhol sklonu (pitch angle)		Vstupná rychlosť	
		KIAS		[°]		KIAS	
		doporučená skutočná		doporučený skutočný		doporučená skutočná	
7:10:00		75 75		10 11°		60 60	
7:15:30		75 75		-10 -10		90 90	
7:17:00							
Poznámky:							
Rýchle kmity (oscilácie min. 90s)							
Čas-začiatok manévru		Vstupná rychlosť		Čas-ukončenie manévru			
		KIAS					
		doporučená skutočná					
7:09:45		75 75				7:10:20	
Poznámky:							

Príloha J1: Rýchle kmity, Fugoidálne kmity

URANOS R&D	FT Letová skúška Flight Test	FTP-S-04 Rýchle kmity, fugoidálne kmity	2/2
----------------------	---	---	-----

Palivo koncový stav	L nádrž	P nádrž	Celkom	Spotreba	Zostatok
Čas	Pristátie	Vypnutie	Hobbs	Doba letu	Doba celkom
Vyhodnotenie letu					
Miesto	Dátum	Zkušobný pilot		Zkušobný technik	

Príloha J2: Rýchle kmity, Fugoidálne kmity

Príloha K Záznam FTP-S-05 (Simulátor)

URANOS R&D		FT Letová skúška Flight Test		FTP-S-05 Odozva klonenia, Ovládanie klonenia, Špiralová stabilita		1/2	
---------------	--	------------------------------------	--	--	--	-----	--

Typ letúnu	Výrobné číslo letúnu	/		Poznávací značka	/		
PS-28 N Cruiser PS-28 Cruiser SportCruiser	Typ Motoru	Rotax 912 S2 Rotax 912 ULS2		Typ vrtule	Woodcomp Klassic170/3/R Sensenich 3B0R5R68C		
	Výrob.č. motoru	/		Výrobné číslo vrtule	HUB	/	
					Listy	/	
Pilot	Filip Sklenář			Technik	Tatiana Kminiaková		
Dátum	16. 05. 2022	Letisko	LKKU	Porad.č. letu	Palivo		
					L nádrž	P nádrž	Celkom
Hmotnosť	600 kg	C.G.	30,8 %	5	53	57	110
Počasie	Oblačnosť	CAVOK		Teplota/ Rosný bod	18 °C	QNH	1023 hPa
	Vitr	0 kt	0 kt	G	kt	°V	Dohľadnosť
							km
Povolenie	RWY	/	Priestor	/	Nadmors. výška	/	XPDR
						f/FL	/
Hobbs	/	Čas nahodenia	/	UTC hh:mm	Čas pojazdu	/	UTC hh:mm
						Čas vzletu	/
							UTC hh:mm
Odozva klonenia							
Čas- začiatok manévru	Vstupná rýchlosť		Pričný náklon vpravo/vľavo (bank angle)		Čas- ukončenie manévru		
-	KIAS		[°]		-		
7: 25:30	doporučená	skutočná	doporučený	skutočná	7: 26:00		
	75	75	20	20			
Poznámky:							
20							
Ovládanie klonenia (voľná odozva min.10s)							
Čas- začiatok manévru	Vstupná rýchlosť		Pričný náklon vpravo/vľavo (bank angle)		Čas- ukončenie manévru		
-	KIAS		[°]		-		
7: 33:22	doporučená	skutočná	doporučený	skutočná	7: 34:00		
	75	75	20	20			
Poznámky:							

Príloha K1: Odozva klonenia, Ovládanie klonenia, Špiralová stabilita

URANOS R&D	FT Letová skúška Flight Test	FTP-S-05 Odozva klonenia, Ovládanie klonenia, Špirálová stabilita	2/2
----------------------	---	--	-----

Špirálová stabilita (zátačka 360°)						
Zatáčka	Čas- začiatok manévru	Vstupná rýchlosť		Zatáčka – priečny náklon		Čas- ukončenie manévru
-	-	KIAS		[°]		-
vpravo	7:37:00	doporučená	skutočná	doporučený	skutočný	7:38:00
		75	75	30	30	
vľavo	7:38:50	doporučená	skutočná	doporučený	skutočný	7:40:00
		75	75	30	30	
Poznámky:						
Palivo- koncový stav	L nádrž	P nádrž	Celkom	Spotreba	Zostatok	
Čas	Pristátie	Vypnutie	Hobbs	Doba letu	Doba celkom	
Vyhodnotenie letu						
Miesto	Dátum	Zkušobný pilot		Zkušobný technik		

Príloha K2: Odozva klonenia, Ovládanie klonenia, Špirálová stabilita

Príloha L Záznam FTP-S-06 (Simulátor)

URANOS R&D	FT Letová skúška Flight Test	FTP-S-06 Odozva smerového kormidla, Dutch Roll, Bočný sklz	1/2
----------------------	---	---	-----

Typ letúnu	Výrobné číslo letúnu	Rotax 912 S2 Rotax 912 ULS2	Poznávací značka	Woodcomp Klassic170/3/R Sensenich 3B0R5R68C
PS-28 N Cruiser PS-28 Cruiser SportCruiser	Typ Motoru		Typ vrtule	
	Výrob.č. motoru		Výrobné číslo vrtule	HUB Listy

Pilot	Filip Sklenář	Technik	Tatiana Kminiaková
-------	---------------	---------	--------------------

Dátum	16.05.2022	Letisko	LKKU	Porad.č. letu	Palivo	L nádrž	P nádrž	Celkom
-------	------------	---------	------	---------------	--------	---------	---------	--------

Hmotnosť	600 kg	C.G.	30,8 %	6	53	57	110
----------	--------	------	--------	---	----	----	-----

Počasí	Oblačnosť	CAVOK	Teplota/ Rosný bod	18 °C	QNH	1023 hPa
	Vitr	0 kt	G kt	°V	Dohľadnosť	/ km

Povolenie	RWY	/	Priestor	/	Nadmors. výška	/ f/FL	XPDR	/
-----------	-----	---	----------	---	-------------------	--------	------	---

Hobbs	/	Čas nahodenia	/	UTC hh:mm	Čas pojitídení	/	UTC hh:mm	Čas vzletu	/	UTC hh:mm
-------	---	---------------	---	-----------	----------------	---	-----------	------------	---	-----------

Odozva smerového kormidla

Zatáčka	Čas- začiatok manévru	Vstupná rýchlosť		Výchylka smerového kormidla	Čas- ukončenie manévru
-	-	KIAS		[°]	-
		doporučená	skutočná		
vpravo	8:17:19	75	75	10	8:17:50
	8:18:00	75	75	30	8:18:23
vľavo	8:19:00	75	75	10	8:19:31
	8:19:35	75	75	30	8:19:52

Poznámky:

Dutch Roll (oscilácia min. 90s)

Čas- začiatok manévru	Vstupná rýchlosť		Výchylka smerového kormidla	Čas- ukončenie manévru
-	KIAS		[°]	-
	doporučená	skutočná		
7:52:59	75	75	10	7:56:00

Poznámky:

Príloha L1: Odozva smerového kormidla, Dutch Roll, Bočný sklz

URANOS R&D	FT Letová skúška Flight Test	FTP-S-06 Odozva smerového kormidla, Dutch Roll, Bočný sklz	2/2
----------------------	---	---	-----

Bočný sklz					
Čas- začiatok manévru	Vstupná rýchlosť	Počiatočná poloha voči stredu dráhy	Bank angle	Sideslip angle	Čas- ukončenie manévru
-	KIAS	-	[°]	[°]	-
8:06:56	60	vpravo	/	/	8:08:30
/	/	vľavo	/	/	/
Poznámky:					
Palivo koncový stav	L nádrž	P nádrž	Celkom	Spotreba	Zostatok
Čas	Pristátie	Vypnutie	Hobbs	Doba letu	Doba celkom
Vyhodnotenie letu					
Miesto	Dátum		Zkušobný pilot	Zkušobný technik	

Príloha L2: Odozva smerového kormidla, Dutch Roll, Bočný sklz