

Katedra letecké techniky

Návrh metodiky testování pilotů

Postupy při testech na simulátorech.

Popisy programového vybavení.



Zpracoval: prof. Ing. Rudolf Jalovecký, CSc.

Brno 2019

Obsah

1.	Obecný úvod, pojmy a zkratky.....	3
1.1.	Použité pojmy a zkratky.....	3
2.	Matematický základ modelů chování pilot, princip měření a způsob testování.	4
2.1.	Matematický základ pro analýzu chování pilotů	6
2.2.	Princip měření a způsob testování.....	8
3.	Rozdělení postupu testování dle použitých simulátorů	9
3.1.	Testování na simulátoru X-Plane – Univerzita obrany.....	9
3.1.1.	Ruční testování	9
3.1.2.	Automatické testování.....	13
3.2.	Testování na simulátoru L410 Lets'Fly.....	16
3.3.	Testování na simulátoru 2D Lets'Fly	16
3.4.	Testování na simulátoru C172 – ČVUT.....	16
3.5.	Testování na simulátoru L159 – LZ Čáslav	20
4.	Programové vybavení pro evidenci, zpracování dat a vyhodnocení analýz	24
4.1.	HUFA_V.EXE - Programové vybavení pro evidenci všech pilotů, jejich misí a výsledků analýz, včetně grafických výstupů	24
4.2.	XPlanem.m – Programové vybavení pro řízení automatického testu na simulátoru X-Plane - UO	25
4.3.	SimCVUT.m – Programové vybavení pro řízení automatického testu na simulátoru FG - ČVUT.....	26
4.4.	HUFA_M_v.m - Programové vybavení přípravu dat jednotlivých reakcí pilotů	27
4.5.	HUFA_M_s.m - Programové vybavení pro přípravu dat při průměrování reakcí pilotů	29
4.6.	HUFA_Batch_mat.m - Programové vybavení pro výpočet matematických modelů pilota – dávkové zpracování.....	30
4.7.	WMSApp.EXE – program na obsluhu pohybového snímače WMS.....	30
5.	Literatura	33

Metodika testování pilotů

1. Obecný úvod, pojmy a zkratky

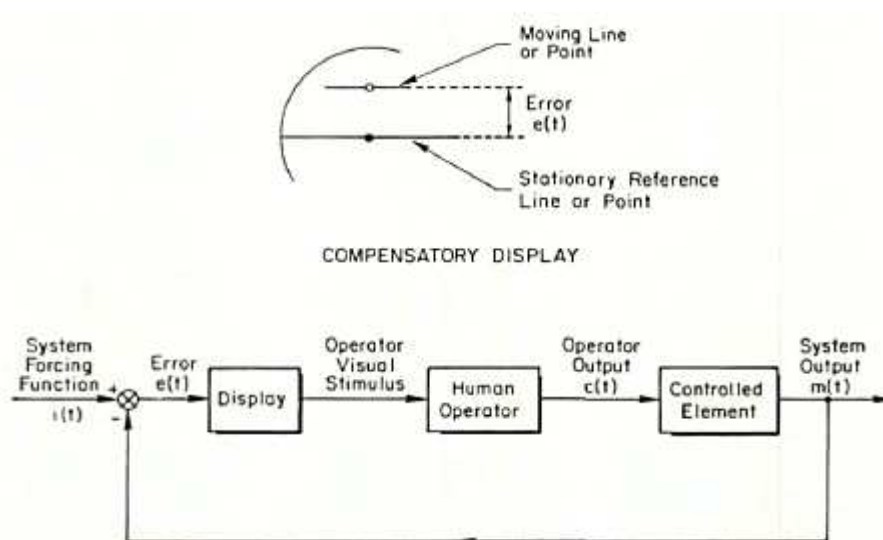
Letecký provoz v současné době klade značné nároky na výcvik pilotů. Část výcviku se z hlediska bezpečnosti provozu letecké techniky z ekonomického hlediska provádí na leteckých simulátorech. Řada firem nabízí různě dokonalé letecké simulátory vesměs ale zaměřené jen na běžný výcvik. Žádné další využití již neprovozují. Kvalita výcviku pilotů je dána i schopnostmi spolehlivě a krátkém čase reagovat na změnu standartních letových parametrů. Tento text, jako návrh budoucí metodiky testování pilotů, obsahuje teorii chování pilotů při řízení letu, postupy a způsoby testování pilotů právě na vznik nečekané změny letových parametrů.

1.1. Použité pojmy a zkratky

Zkratka	Význam v češtině	Anglický význam – pokud existuje
HUFA_Batch_mat.m	Programové vybavení pro výpočet matematických modelů pilota – dávkové zpracování	
HUFA_M_s.m	Programové vybavení pro přípravu dat při průměrování reakcí pilotů	
HUFA_M_v.m	Programové vybavení přípravu dat jednotlivých reakcí pilotů	
HUFA_V.EXE	Programové vybavení pro evidenci všech pilotů, jejich misí a výsledků analýz, včetně grafických výstupů	
FG	Flight Gear - programové vybavení simulátoru ČVUT	
ft	stopa (jednotka délky)	
K	přírůstek síly na kormidlech ve vztahu k jejich odchylce – použito u modelů chování člověka	
PC, NTB	Osobní počítač - notebook	Personal computer
s	Laplaceův operátor - použito u modelů chování člověka	
SW	Software – programové vybavení	Software
T_1 až T_5	Časové konstanty modelů chování člověka	
τ	dopravní zpoždění – reakční doba pilota	
X-Plane	Programové vybavení leteckého simulátoru	
XPlane_m.m	Program v prostředí MATLAB® - automatické testování reakcí	
WMS	Mobilní snímač pohybu	Wearable motion sensor
WMSAPP.EXE	Programové vybavení na sejmutí dat z WMS a jejich konverze do textové podoby	

2. Matematický základ modelů chování pilot, princip měření a způsob testování.

Za počátky sledování možného matematického popisu chování člověka na vnější podnět asi patří autor Mc. Reuer a jeho kolegům cca v 80-tých letech minulého století. Tento autor dal základ budoucím vědcům, kteří se následně problematikou možného popisu chování člověka budou zabývat. Jeho dvě (dosti podobná díla) jsou dostupná v PDF kopiích strojopisů [1, 2]. Autor zde asi poprvé naznačil vazby mezi strojem a lidským operátorem (viz. obr. 1)

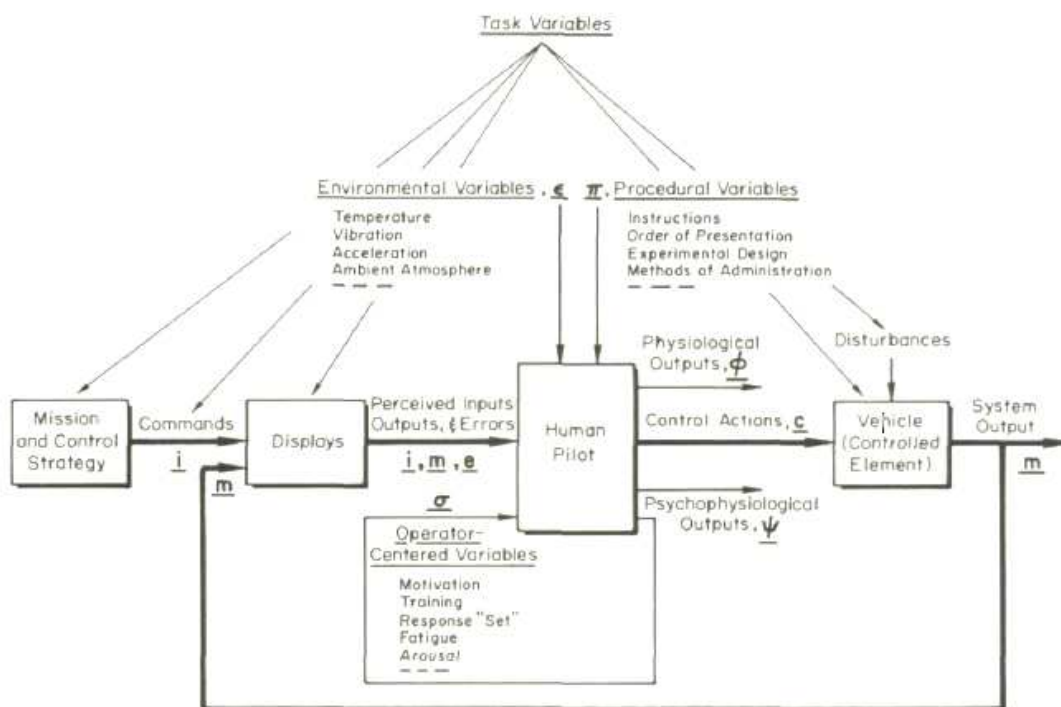


Obr. 1. Základní blokové schéma ručního řízení stroje [1]

V práci rozebírá elementární přenosové články, již z hlediska prvků automatické regulace. Současně se ovšem věnuje i problematice člověka, jeho vnitřním pochodům při vzniku podnětu ať již optického, zvukového nebo pohybového. Komplexně pak zapracovávání do čtyř kategorií a uvádí je v přehledném diagramu – viz obr. 2.

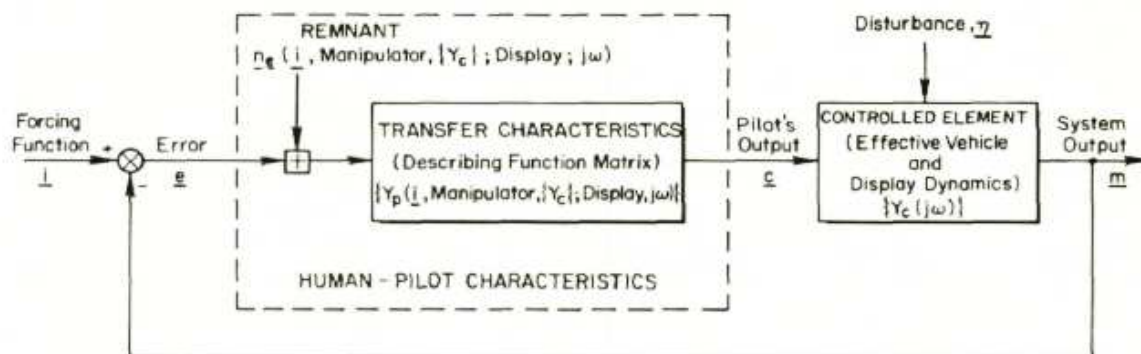
- Task Variables - Proměnné úlohy, které zahrnují všechny systémové vstupy a ovládání systémových prvků vně pilota.
- Environmental Variables – Životní prostředí – okolí – vně pilota, nezávislé na něm.
- Procedural Variables – Procesy realizující přípravu pilota.
- Pilot-Centered Variables – Centrální operátor – pilot, zajišťuje bezprostřední řízení stroje.

Metodika testování pilotů



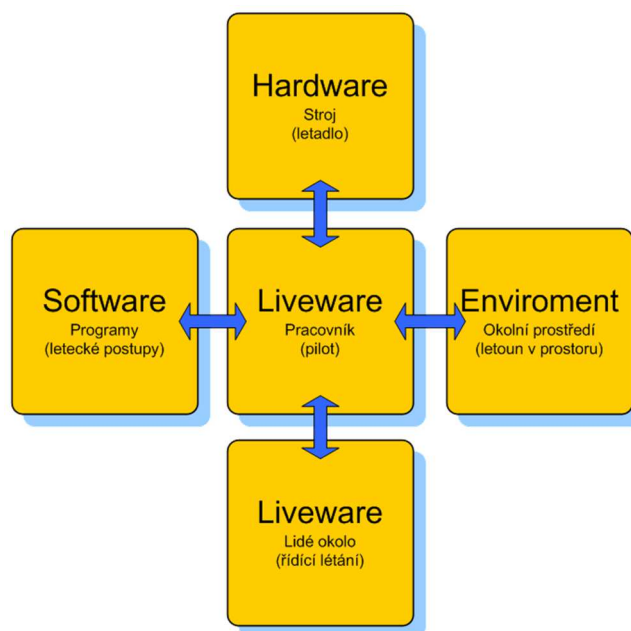
Obr. 2. Přehledový diagram – veličiny co ovlivňují chování pilota [1]

Tímto členěním dal Mc. Reuer základ budoucího vzniku tzv. SHELL modelu [3] (obr. 4.), který popisuje veškeré vazby mezi operátorem a okolím. Autor šel i výrazně dál a matematicky popsal možné chování člověka v uzavřené regulační smyčce viz. obr. 3, který lze chápat jako náznak kompenzačního řízení se zařazením lidského operátora.



Obr. 3. Blokové schéma kvazi-lineárního modelu pilota při řízení letu [1]

Z celého jeho díla o rozsahu přes 90 stran lze i dnes získávat nové a nové informace.



Obr. 4. SHELL model [3]

2.1. Matematický základ pro analýzu chování pilotů

Mc. Reuer a jeho kolegové se pokusili o první pokus matematického popisu chování člověka s využitím prvků automatické regulace. Můžeme jej i v současné době chápat jako základní matematický model dynamických vlastností pilota.

$$F_{(s)} = \frac{Y_{(s)}}{X_{(s)}} = K \frac{(T_3 s + 1)}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} e^{-\tau s} \quad (1)$$

„A“

kde:

- K - přírůstek síly na kormidlech ve vztahu k jejich odchylce (1 až 100)
- T_1 - integrační časová konstanta, tj. schopnost pilota realizovat proměnné činnosti (0,2 až 1s)
- T_2 - dynamické vlastnosti výkonových členů pilota (0,1 až 2s) (neuromuskulární časová konstanta)
- T_3 - reakční časová konstanta, tj. schopnost reagovat na rychlost změny vstupního signálu (5 až 20s) (prediktivní časová konstanta)
- τ - dopravní zpoždění (0,1 až 0,4s) (reakční doba pilota)
- s - Laplaceův operátor

Současná literatura věnující se této oblasti je především zaměřena na analýzu modelů chování člověka při řízení vozidla. Ke zdárným výsledkům dospěla disertační práce [4], kde autorka poměrně dobře rozpracovala dynamické chování lidského operátora. Zvláště se také věnuje diagnostice mechatronických systémů s lidským operátorem. Autorka rozpracovává uvedený model chování člověka (1) a aplikuje jej

na model řízení vozidla, včetně možného chování takto vzniklé soustavy. Ve smyslu Mc. Reuer uvažuje a prakticky simulací i ověřuje zjednodušené modely chování člověka vypuštěním některých časových konstant.

Vypuštěním setrvačného členu s T_1 dostaneme zjednodušenou přenosovou funkci, často označovanou jako Grossův model dynamiky člověka [5]:

$$F_{(s)} = \frac{Y_{(s)}}{X_{(s)}} = K \frac{(T_3 s + 1)}{(T_2 s + 1)} e^{-\tau s} \quad (2) \quad \text{„B“}$$

Mezi ty nejjednodušší způsoby činnosti člověka - pilota patří procesy, kdy člověk neprovádí žádné „integrace“ či „derivace“ vstupního signálu a vykonává „jen“ funkci zesilovacího členu s dynamikou výkonového členu. Pak získáme nejjednodušší přenosovou funkci dynamiky člověka – pilota [5]:

$$F_{(s)} = \frac{Y_{(s)}}{X_{(s)}} = K \frac{1}{(T_2 s + 1)} e^{-\tau s} \quad (3) \quad \text{„C“}$$

Je na zvážení, zda uvedená zjednodušení mohou výrazněji přispět k možnostem zvýšení produktivity výcviku pilotů.

Další literaturu z posledního období lze nalézat především na internetu a to jako útržkovité informace z článku konferencí, případně odborných časopisů. Autor této metodiky má dosti dobý přehled a maximálně tyto informace využívá ve prospěch dalších analýz chování člověka při řízení letu (všechna využitelná literatura, včetně publikací autora metodiky jsou k dispozici na <https://user.unob.cz/jalovecky/HMI/>)

Matematickými analýzami v disertační práci [Z6] bylo zjištěno, že pro přesnější vyhodnocení chování člověka při řízení letu letounu by bylo vhodné rozšířit rovnici (1) o další časové konstanty (T_4 a T_5). Získáme tak přenosovou funkci vyššího řádu a při aplikaci vhodných identifikačních metod pro určení parametrů navržené přenosové funkce dostaneme i lepší výsledky. Autor prozatím nedokázal vhodně interpretovat fyziologické, resp. psychologické děje, probíhající v lidském těle a umožňující vhodně určit význam nových časových konstant.

$$F_{(s)} = \frac{Y_{(s)}}{X_{(s)}} = K \frac{(T_3 s + 1)(T_5 s + 1)}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)(T_4 s + 1)} e^{-\tau s} \quad (4) \quad \text{„D“}$$

Variací časových konstant T_4 a T_5 získáme další modifikace matematického modelu chování člověka při řízení letu letounu.

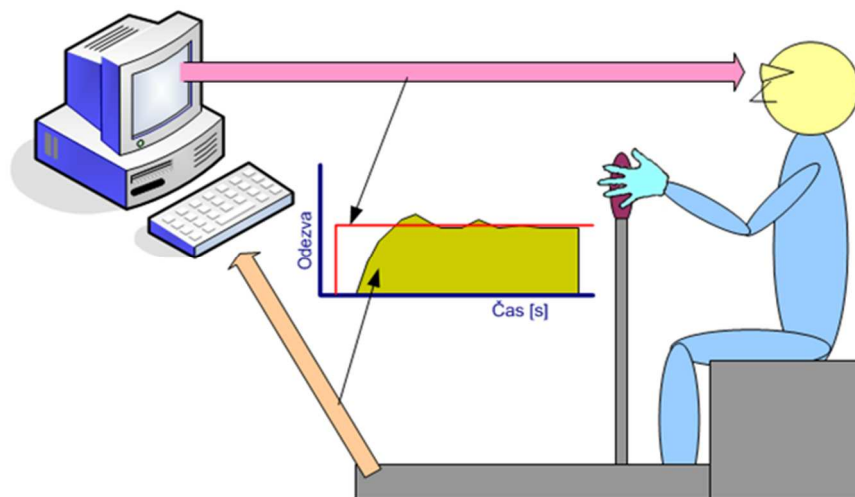
$$F_{(s)} = \frac{Y_{(s)}}{X_{(s)}} = K \frac{(T_3 s + 1)(T_5 s + 1)}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} e^{-\tau s} \quad (5) \quad \text{„E“}$$

$$F_{(s)} = \frac{Y_{(s)}}{X_{(s)}} = K \frac{(T_3 s + 1)}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)(T_4 s + 1)} e^{-\tau s} \quad (6) \quad \text{„F“}$$

Uvedené rovnice – 3 základní a 3 rozšířené zdaleka nepokrývají další možnosti tvorby přenosových funkcí modelu chování člověka s využitím výrazně vyšších řádů. Potřebná fyziologická interpretace v lidském těle zatím chybí, přestože i Mc. Reuer ve své práci [Z1, Z2] zmiňuje možné vyšší řády přenosových funkcí, ale prezentuje je jako tlumené kmity svalů. Pro přehlednost matematických modelů je autor metodiky označuje písmeny „A“ až „F“, což je současně uvedeno v odkazech rovnic.

2.2. Princip měření a způsob testování

Parametry modelů chování člověka, definovaných rovnicemi (1) až (6), v procesu řízení letu letounu je možné získávat na základě experimentálního měření reakce člověka na podnět. Testovaný pilot sleduje na obrazovce či palubních přístrojích simulátoru vnější podnět, respektive jeho skokovou změnu a snaží se výchylnou řídicí páky dosáhnout požadované hodnoty skokově změněného parametru. Časový průběh pohybu řídicí páky je přenesen do počítače a zaznamenáván spolu s velikostí vnějšího podnětu. Oba tyto údaje spolu s časovou osou se pak použijí v matematických metodách experimentální identifikace. Principiálně lze tento způsob přiblížit na obr. 5.

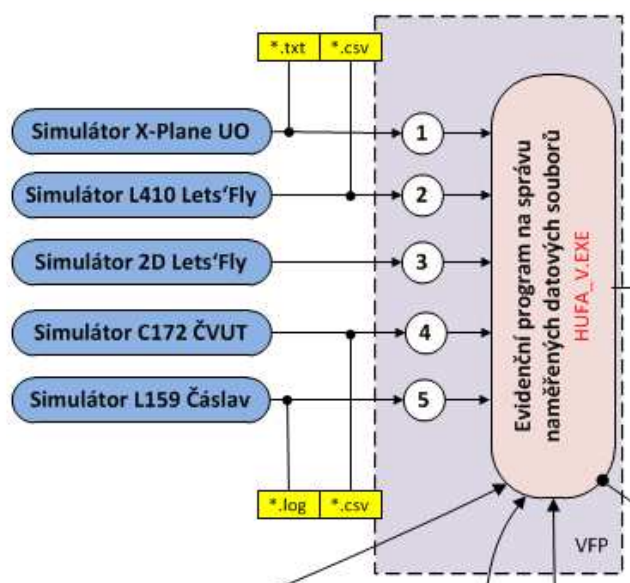


Obr. 5. Princip měření odezvy člověka na vizuální podnět.

Podle zvoleného typu přenosové funkce modelu chování pilota, rovnice (1) až (6), je možné pro určení časových konstant v modelech chování člověka využít matematické metody experimentální identifikace reálných systémů, jejichž výsledky byly úspěšně použity např. v [4, 6, 7].

3. Rozdělení postupu testování dle použitých simulátorů

V průběhu řešení problematiky testování pilotů a následné vyhodnocení jejich reakcí se postupně využilo 5 leteckých simulátorů. Na obr. 6 je uveden náhled na možnosti zpracování dat z celkem 5 simulátorů]. Na počátku vývoje testování a vyhodnocování reakcí pilotů byl simulátor postavený na platformě Windows XPlane-10 simulující letoun King Air C90B, jehož chování při letu poměrně dobře odpovídá letounu Z141, na kterém piloti – studenti realizují svůj základní výcvik. V průběhu



Obr. 6. Náhled na možnosti zpracování vstupních dat z různých leteckých simulátorů

řešení TAČR projektu [TA04031376 Výzkum /vývoj metodiky výcviku leteckých specialistů L410 UVP - E20] byly využity dva simulátory – L410 a 2D simulátor ve firmě Lets'Fly. Spolupráci s kolegy z ČVUT pak byl využíván simulátor FG simulující letoun C172 postavený na pohyblivé základně. V posledním období se podařilo ve spolupráci s firmou VRGroup využívat simulátor L159 instalovaný na letecké základně v Čáslavi s následnou možností testovat již piloty v průběhu jejich běžné praxe.

3.1. Testování na simulátoru X-Plane – Univerzita obrany

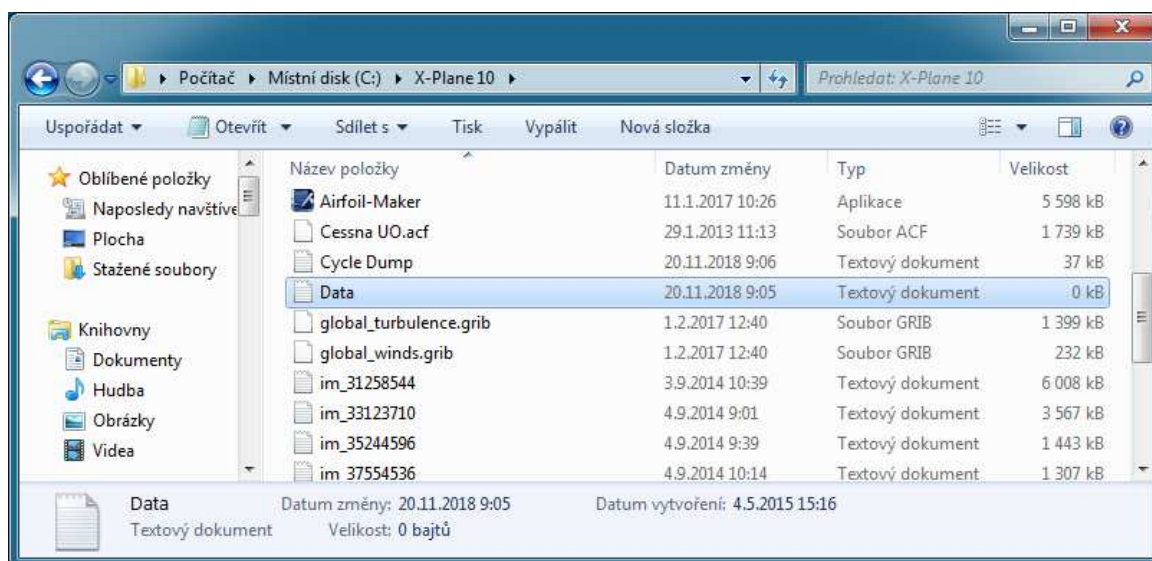
Letecký simulátor postavená na UO umožňuje testování pilotů ve dvou režimech. Prvním z nich je ruční ovládání testu, které je na dodržení opakovatelnosti dosti náročný a pak i automatický test, který zajistí prakticky 100% opakovatelnost testu především co do časové oblasti a nastavená shodných výchozích podmínek před každou misí.

3.1.1. Ruční testování

Příprava testu:

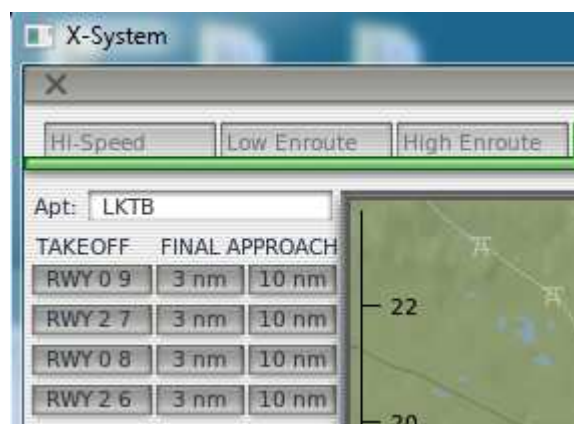
- Zapnutí simulátoru – stanice žáka.
- Zapnutí PC (NTB) kde bude provozován XPlane_m-m, spuštění MATLABu.
- Kontrola připojení disku (M:) stanice žáka -> mapovaný prostor simulačního programu XPlane-10 (viz. obr. 7)
- Spuštění SW simulátoru XPlane-10 na stanici žáka s vymazání souboru DATA.TXT (CTRL+Z).

Metodika testování pilotů



Obr. 7. Adresář SW X-Plane se zobrazením souboru **Data.TXT**

- Po jeho naběhnutí (cca 5min) hned simulaci zastavit klávesou „P“ - Pause. Roztažení obrazu na všech 6 monitorů a upravit náhled do kabiny.
- Na NTB spuštění evidenčního programu HUFA_V.exe a připojení sdíleného disku M: (pro potřebu přímo čtení datového souboru DATA.TXT)
- Výběr testovaného pilota jako aktivního nebo nového pilota zvést a nastavit nové měření
- Na instruktorské stanici se nastaví mapa na letiště Brno – Tuřany (LKTB) a potvrdí se poloha 10NM (obr. 8)
- Spustit simulovaný let tlačítkem „P“ na instruktorské stanici
- Odměřovat čas běhu simulovaného letu. K tomu využít SW Stopky (obr. 9)
- Cca mezi 15-20 s provést skok výšky o 300ft – provádí se na instruktorské stanici. Po uplynutí času cca 15-20s od spuštění simulovaného letu provést jednorázový skok výšky o 300 ft směrem dolů, přičemž se předpokládá let ve výšce 2900 ft a vyšším. Skok se provede kliknutím na číslici “9” a její přepsání na “6” (viz obr. 11). Pro zjednodušení obsluhy je možné pohyby letadélka zastavit stiskem tlačítka „center on aircraft“ na instruktorské stanici (obr. 10)
- Po uplynutí cca 90 s od spuštění simulace zastavit běh simulovaného letu tlačítkem „P“ na instruktorské stanici
- Opakovat skok výšky s časovými prodlevami celkem 10x
- Zastavit běh simulace – Pause tlačítkem „P“ na instruktorské stanici

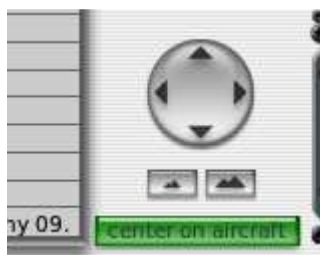


Obr. 8. Nastavení výchozí polohy letounu před letištěm LKTB

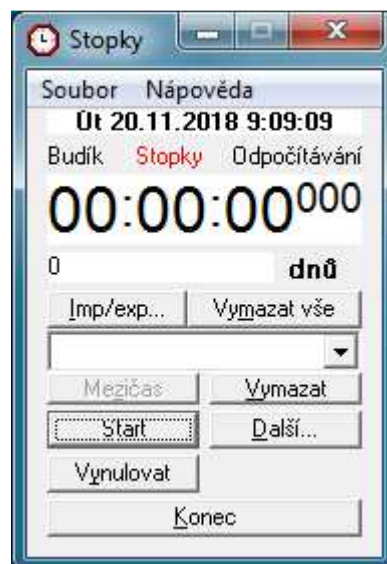
Metodika testování pilotů



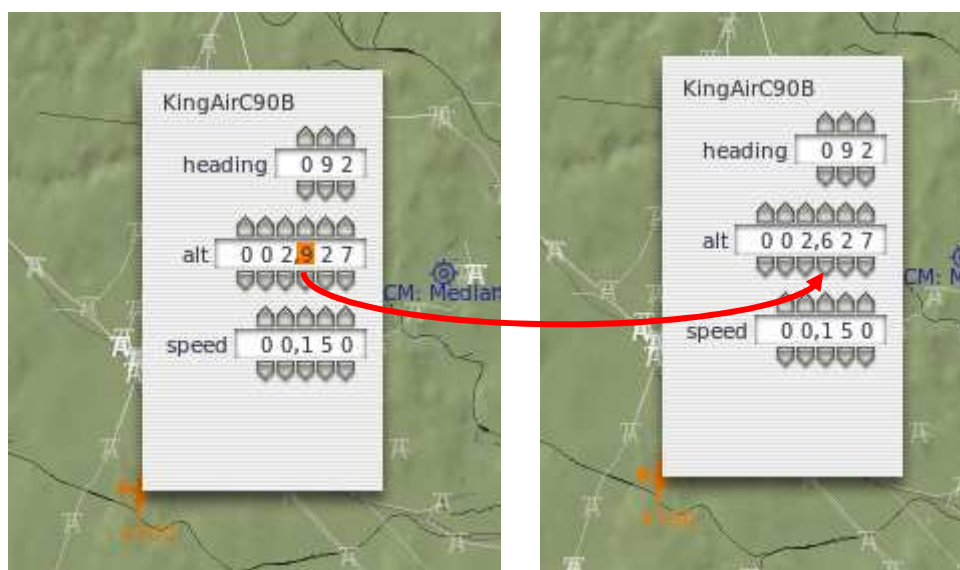
Obr. 9. Vizuální podoba **SW Stopky** a jeho zástupce na ploše



Obr. 10. Ovládání zastavení pohybu letadélka nad mapou

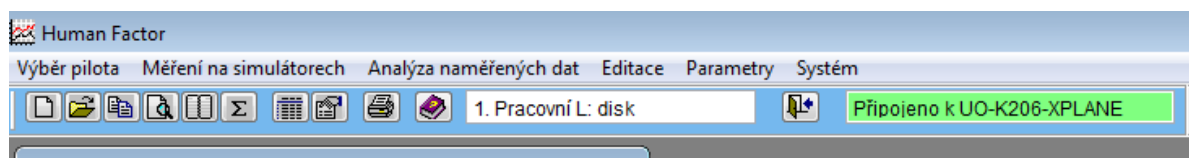
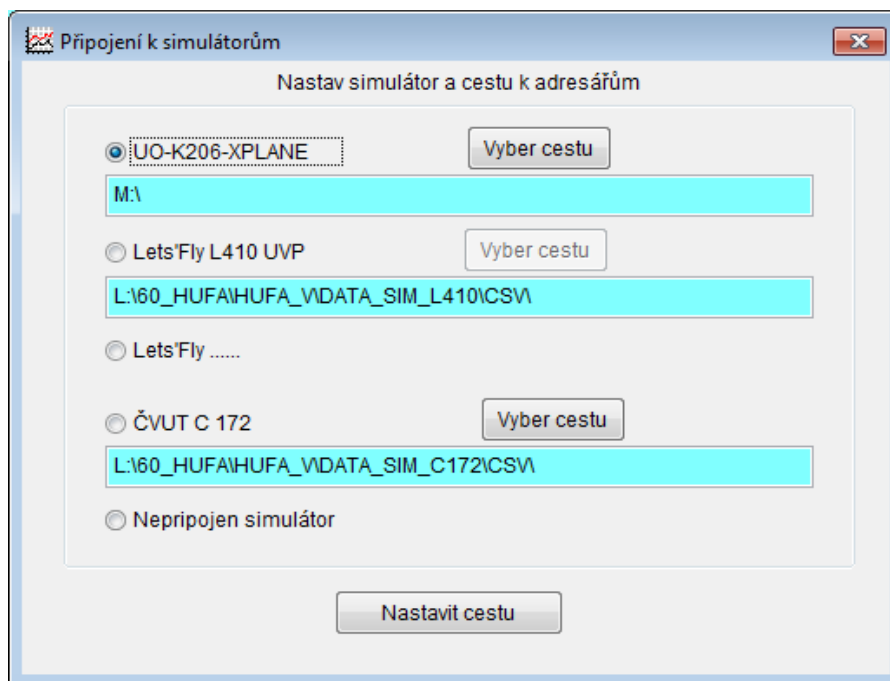


- Po zastavení simulovaného letu je nutné s využitím evidenčního programu HUFA_V přečíst datový soubor Data.txt. Evidenční program běží na jiném PC. Způsob přečtení datového souboru lze udělat třemi způsoby.
 - Je-li na PC, kde běží evidenční program HUFA_V namapovaný disk leteckého simulátoru, lze tzv. připojit tento disk do evidenčního programu (viz obr. 12.)
 - Pokud se namapované disky leteckého simulátoru do evidenčního programu nepřipojí, lze datový soubor Data.txt vyhledat ručně (viz obr. 13.)
 - Pokud není disk namapovaný je nutné datový soubor Data.txt přenést na PC s evidenčním programem před externí medium.

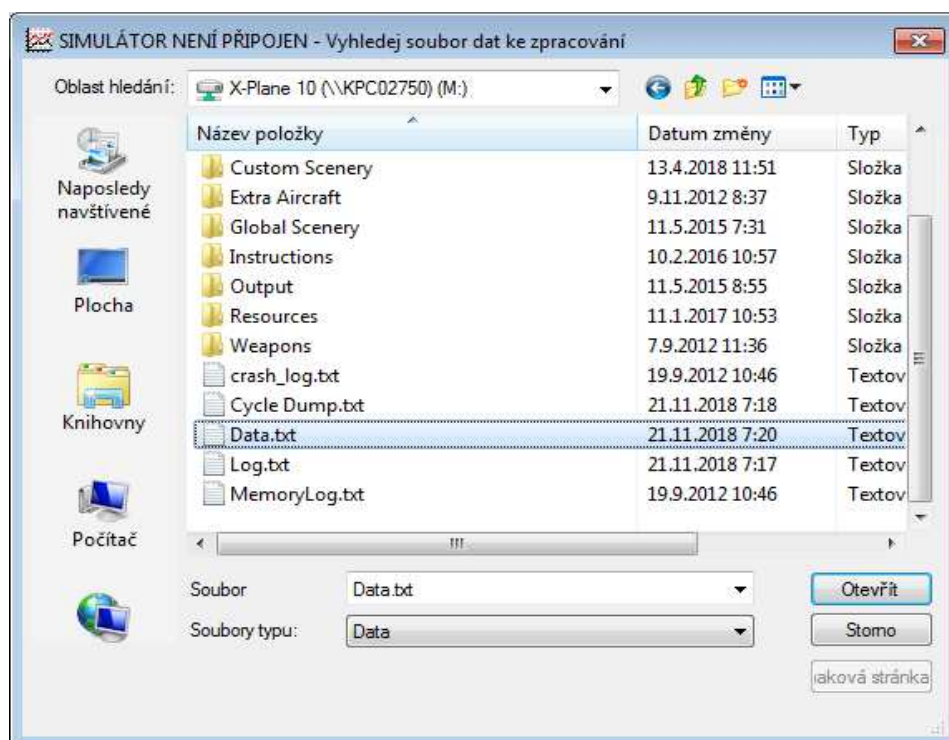


Obr. 11. Náhled na letadélko s otevřenými letovými parametry

Metodika testování pilotů



Obr. 12. Způsob mapování disku leteckého simulátoru do evidenčního programu **HUFA_V**



Obr. 13. Výběru datového souboru **Data.txt** při ručním načítání dat

3.1.2. Automatické testování

Pro zautomatizování testu, které má především výhodu v přesné opakovatelnosti nastavení všech letových údajů u doby jednotlivých skoků výšky byl vytvořen program v prostředí MATLAB® - XPlane_m.m.

Příprava testu:

- Zapnutí simulátoru – stanice žáka.
- Zapnutí PC (NTB) kde bude provozován XPlane_m-m, spuštění MATLABu.
- Kontrola připojení disku (M:) stanice žáka -> mapovaný prostor simulačního programu XPlane-10.
- Spuštění SW simulátoru XPlane-10 na stanici žáka s vymazání souboru DATA.TXT (CTRL+Z). Po jeho naběhnutí (cca 5min) hned simulaci zastavit klávesou „P“ - Pause. Roztažení obrazu na všech 6 monitorů a upravit náhled do kabiny.
- Na NTB spuštění evidenčního programu HUFA_V.exe a připojení sdíleného disku M: (pro potřebu přímo čtení datového souboru DATA.TXT).
- Výběr testovaného pilota jako aktivního nebo nového pilota zvést a nastavit nové měření.
- V prostředí MATLAB, nastavení adresáře ...\\XPlane_m a spuštění skriptu XPlane_m.m
- Otestovat funkci řízení simulátoru z NTB (Start – Stop).
- Prověřit nastavení testu pilotů na 60s, 10 skoků, výškový skok =300ft.
- Příprava snímače WMS – spuštění na NTB aplikaci WMS_app.exe
- Vložení snímače WMS do čtečky a její připojení k NTB -> bezprostředně naběhne echo o připojení, provedení kontroly nabytí snímače (viz. obr. 36).

Příprava testované osoby – pilota

- Odzkoušení si pilotem funkce simulátoru, jeho reakce na řízení kniplotem, pedály, změnou tahu motoru (cc do 15 min.)
- Vypnutí simulačního programu XPlane-10 a jeho znovuspuštění (CTRL+Z) za účelem vymazání starých dat ze souboru DATA.TXT.
- V aplikaci WMS_app.exe zapnutí záznamu snímače WMS.
- Upevnění na pravou ruku (předloktí) pilota (šipka směrem k prstům).
- Obraz simulátoru roztáhnout na všech 6 monitorů.
- Spuštění automatického testu XPlane_m.m (viz obr. 14).

V průběhu automatického testu lze sledovat reakce pilota i vlastní parametry simulovaného letu ve dvou oknech (obr. 15).

Činnost po ukončení testu:

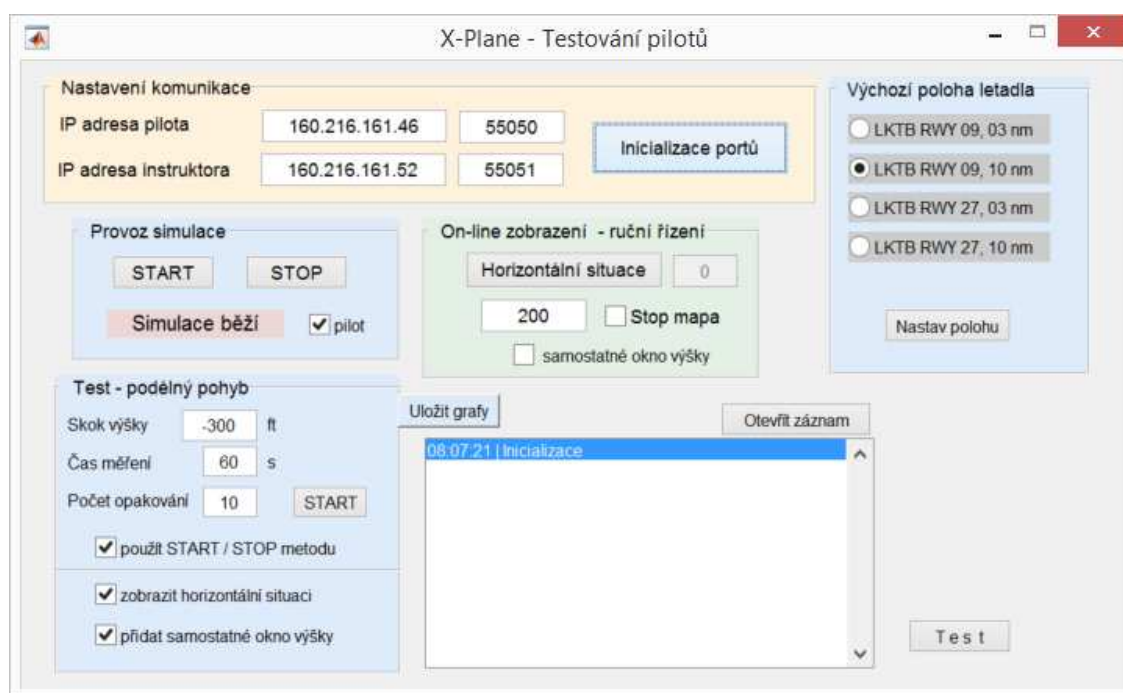
- Test je ukončen po nastaveném počtu opakování skoků zastavením simulovaného letu.
- Sejmутí snímače WMS z ruky pilota
- Uložení do čtečky a rychlé zastavení záznamu (viz. obr. 31).

Metodika testování pilotů

- Data simulovaného letu načíst do programu HUFA_V k aktivnímu pilotovi.
- Provést automatickou detekci „hlavičky“ v datovém souboru -> rozdělení záznamu do jednotlivých „skoků“ (viz. obr. 17).
- Uložení grafů z XPlane_m.m k aktivnímu pilotovi.
- Přiřazení dat ze snímače WMS k aktivnímu pilotovi.

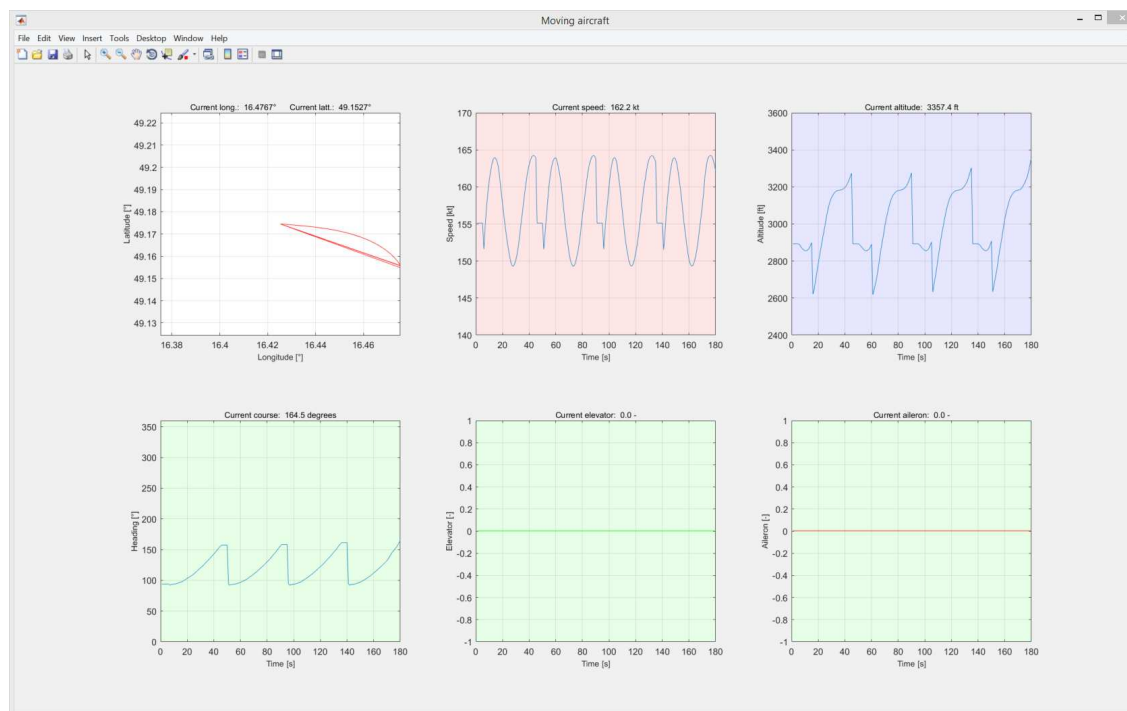
Zpracování naměřených údajů se provádí v několika nezávislých programech kdykoliv po ukončení testu:

- Programem HUFA_v.m se provede příprava dat letu ze simulátoru pro následnou analýzu matematickými popisy chování pilotů a vyčíslení jednotlivých koeficientů v rovnicích
- Následný výpočet v dávkovém zpracování (více dat současně) v programu HUFA_Batch_mat.m.
- Programem HUFA_s.m se provádí průměrování všech deseti skoků s následným uložením výsledků pro zpracování programem HUFA_Batch_mat.m.
- Programem WMSAPP.EXE se provede konverze vybraného záznamu do formátu *.tsv (viz. obr. 38).

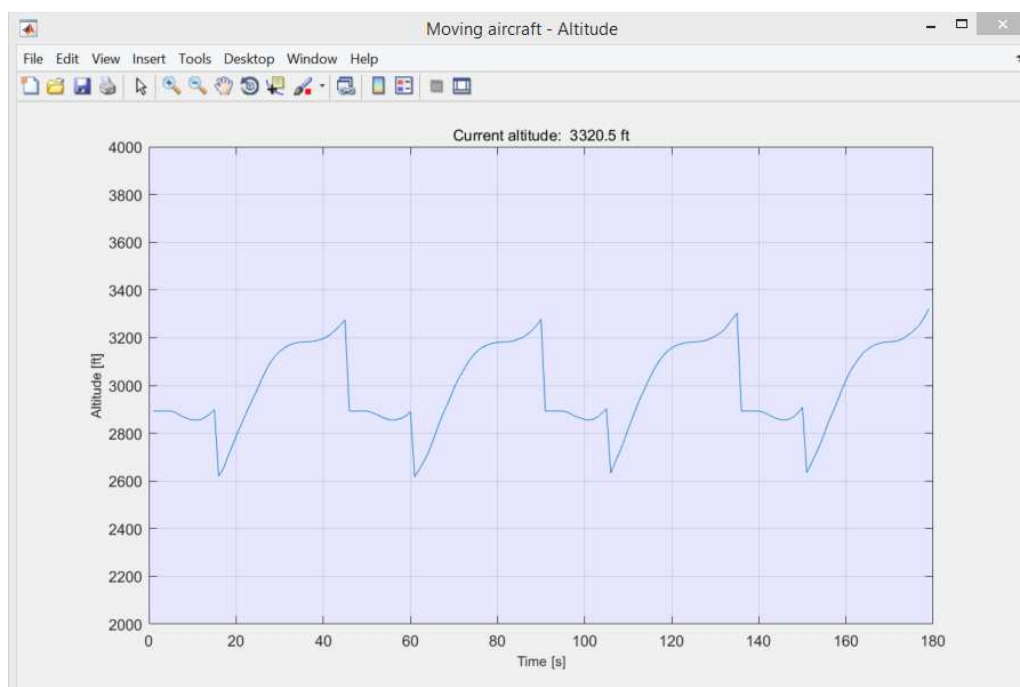


Obr. 14. Ovládací program XPlane_m.m Tlačítkem START se provede spuštění automatického testu

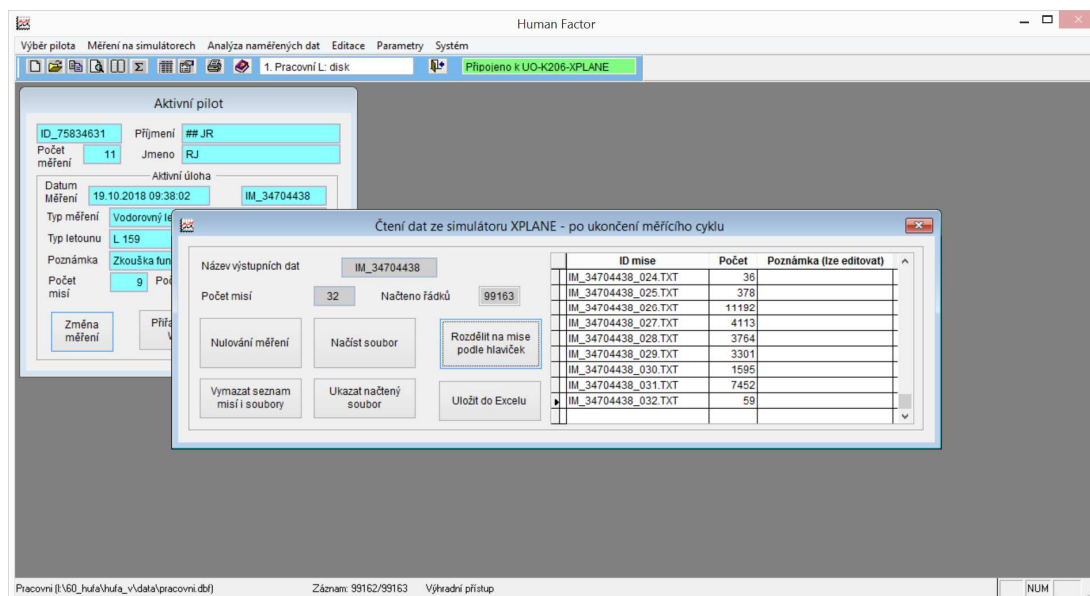
Metodika testování pilotů



Obr. 15. On-line zobrazení vybraných parametrů simulovaného letu při automatickém testu na simulátoru X-Plane



Obr. 16. Detail změny výšky letu při automatickém testování pilota na simulátoru X-Plane



Obr. 17. Čtení datového souboru ze simulátoru, jeho přiřazení k pilotovi a detekce hlaviček testovaného letu.

3.2. Testování na simulátoru L410 Lets'Fly

Postup testování není uveden z důvodu ukončení spolupráce s firmou Lets'Fly pro ukončení projektu TAČR.

3.3. Testování na simulátoru 2D Lets'Fly

Postup testování není uveden z důvodu ukončení spolupráce s firmou Lets'Fly pro ukončení projektu TAČR.

3.4. Testování na simulátoru C172 – ČVUT

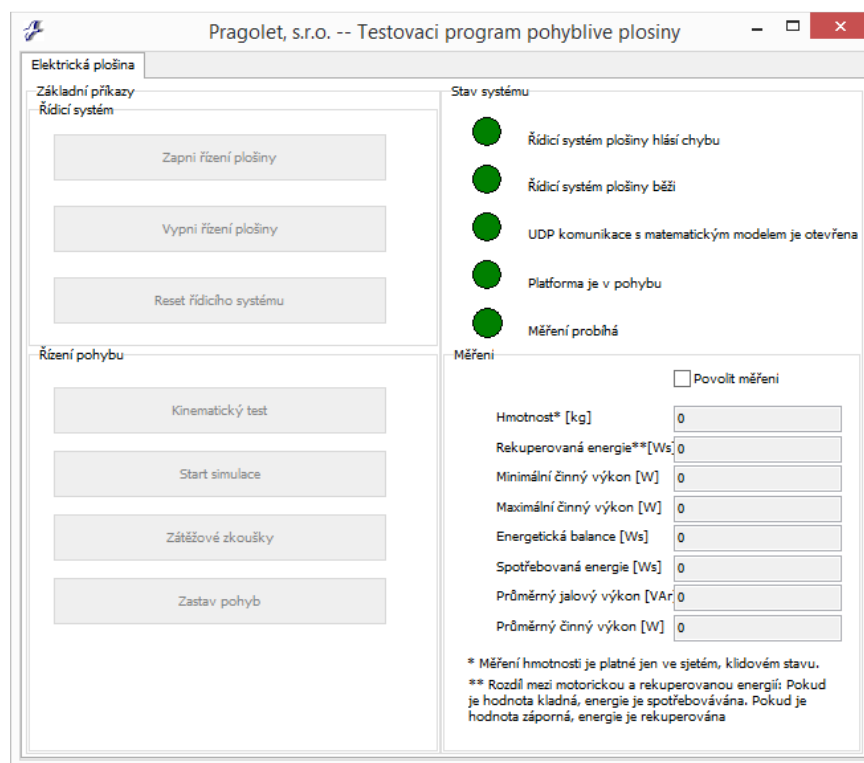
Pro testování na tomto simulátoru je potřebné nejprve celý simulátor zprovoznit, tj. nejen pozapínat oba počítače simulátoru, ale i měniče pro ovládání pohybu simulátoru, zajisti komunikaci se všemi částmi simulátoru i s ovládacím programem na obsluhu podvozku.

Příprava simulátoru před testem

- Připojit napájení 230 V a 3x400V.
- Oba PC simulátoru nabíhají sami, dolní 2 monitory se samy probudí, horní sestava monitoru po naběhnutí Windows 7 chce heslo passwort.\$1.
- Po vložení hesla je nutné nastavit na dolním levém monitoru zobrazení přístrojů na předváděcím monitoru a na malém levém monitoru obrázek letu.
- Kontrola připojení periférií -> odezva 1 v komunikačním kanálu.
- Spuštění FG s dávkou na ploše „R_LKPR24_approach_4monitoryL.bat“ nebo CTRL+ALT+T.

Metodika testování pilotů

- Zastavit FG stopkou (kdekoliv funguje -> malé „p“ na klávesnici, prostřední tlačítko na kniplech).
- Nahodit měniče podvozku jističem.
- Spustit SW Pragolet (viz. obr. 18) – komunikace se ohlásí zeleným „světýlkem“ ve 2 řadě. Pokus svítí chyba řídicí plošiny, musí se SW shodit a spustit znova.
- Na SW plošiny zapnout „Start simulace“ -> plošina vyjede do výchozí polohy.
- V prostředí MATLAB® spustit komunikační program [CANTBX_InstallToolbox](#), pokud jsou odpovědi v komunikaci všude „1“ je komunikace zprovozněna.
- FG - simulátor je připraven k provedení testů.



Obr. 18. Ovládací program pro řízení plošiny - podvozku na simulátoru C172 - ČVUT

Pro zautomatizování testu, které má především výhodu v přesné opakovatelnosti nastavení všech letových údajů u doby jednotlivých skoků výšky byl vytvořen program v prostředí MATLAB® - SimCVUT.m (viz. obr. 19) a obsahuje několik funkcí:

- Monitorování okamžité polohy simulovaného letu.
- Monitorování okamžité polohy kormidel včetně okamžitého nastavení trimů.
- Možnost nastavit polohu simulátoru – a tím i letu do zvolené pozice.
- Nastavit simulovaný let resp. letoun na práh dráhy.
- Provést automatizovaný test pilota pro podélný a stranový pohyb.
- Ovládat pomocný program pro monitorování pohybu simulovaného letu v režimu on-line.

Metodika testování pilotů

Příprava testu:

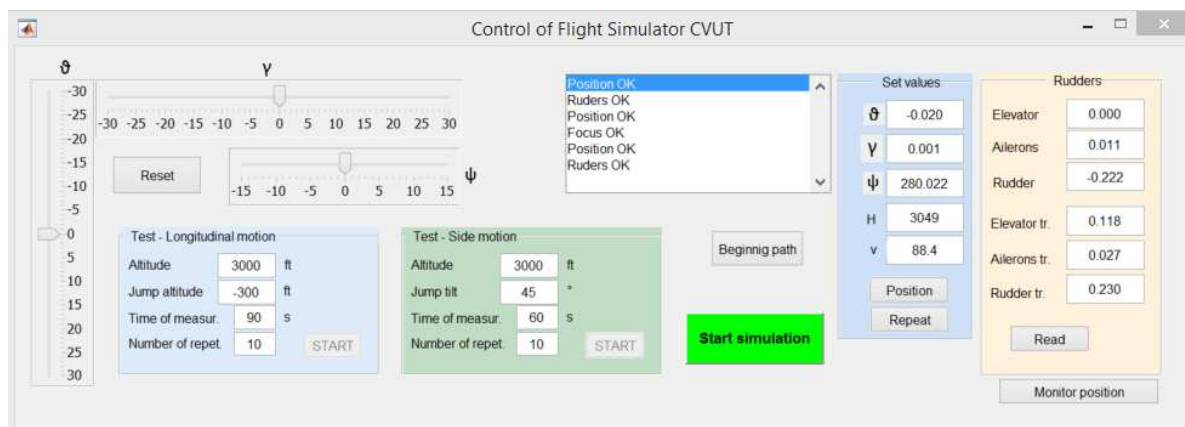
- Bezprostředně před měřením je nutné z adresáře vymazat CSV soubor naměřených dat z předchozího letu. FG má schopnost záznamu letových údajů právě do tohoto souboru. Spuštěním dávky „R_LKPR24_approach_4monitoryL.bat“ nebo CTRL+ALT+T je datový soubor automaticky vždy vymazán.

Příprava testované osoby:

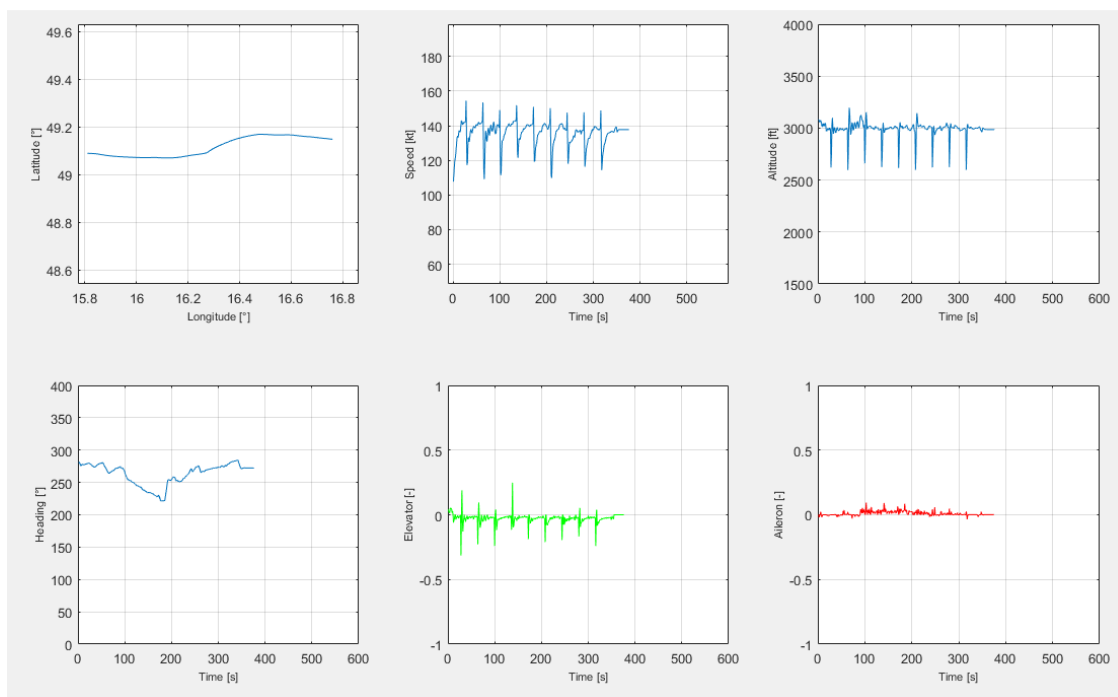
- Testovaný pilot je usazen do levé sedačky a řádně přikurtován pětibodovým pásem.
- Pro seznámení se se simulátorem necháme testovanou osobu několik minut (do 10) se „proletět“, včetně pohybu základny simulátoru.
- Následně se v ovládacím programu SimCVUT.m (viz. obr. 19) stiskne tlačítko „START“ pro test pohyby v podélné ose letu.
- Průběh letu lze sledovat v grafickém okně obr. 20.

Činnost po ukončení testu:

- Načtení souboru SCV se záznamem letu do vyhodnocovacího programu.
- Uložení grafického výstupu do souboru *.fig.
- Ukončení pohybu plošiny – podvozku -> podvozek sjede do základní polohy.
- Uvolnění pilota z popruhů.



Obr. 19. Ovládací program pro automatické testování pilotů na simulátoru FG -C172 - ČVUT



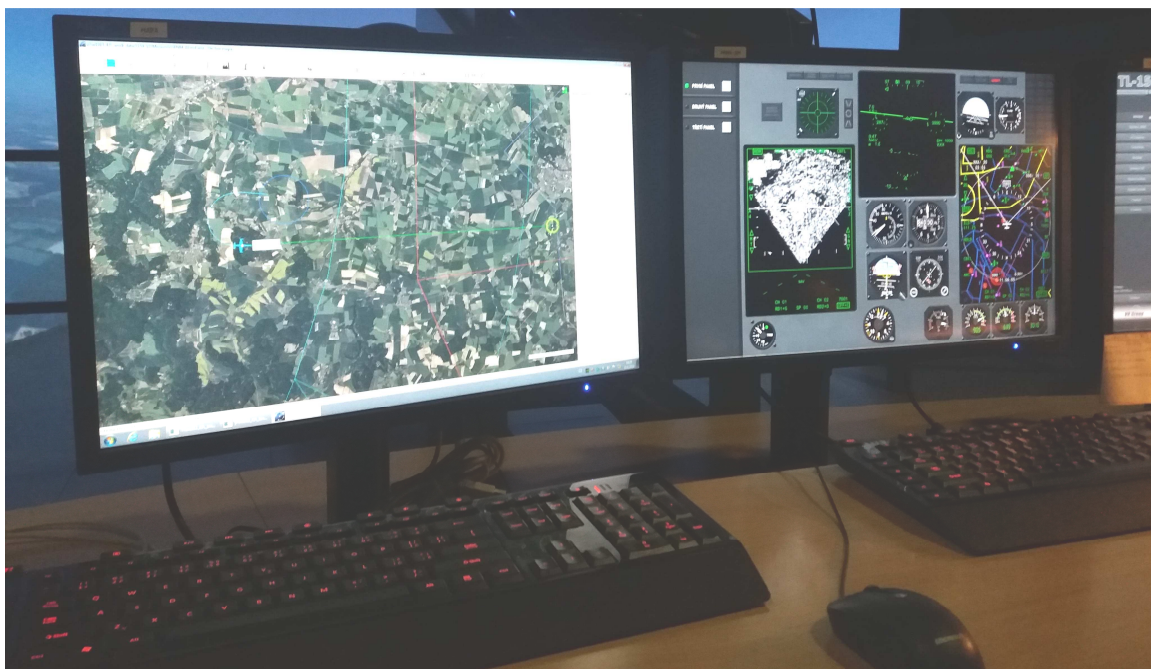
Obr. 20. On-line zobrazení vybraných parametrů simulovaného letu při automatickém testu na simulátoru C172 - ČVUT

Vypnutí simulátoru

- Zastavit pohyb plošiny a její vypnutí jističem.
- Pauze – „p“ na FG.
- Ukončit FG – ESC a potvrdit na monitoru.
- Na obou PC simulátoru krátce stisknout tlačítka zapnutí.
- Po zhasnutí obou PC simulátoru odpojit simulátor od napětí 230V a 3x400V.

3.5. Testování na simulátoru L159 – LZ Čáslav

Testování na simulátoru L159 (KTL159) umístěného v Čáslavi není možné realizovat plně automatickým způsobem. Je to dáno tím, že celý simulátor pracuje v uzavřeném prostředí operačního systému UNIX a není to otevřený systém. Díky spolupráci a ochotě firmy VRGroup bylo možné získat požadované letové údaje v potřebném formátu pro další zpracování dat. Testy pilotů, resp. řízení skoků výšky je provozováno z instruktorské stanice (viz. obr. 21) formou tzv. Teleportu.



Obr. 21. Pohled na pracoviště instruktora – na levém monitoru se sleduje let a ovládají testy

Příprava testu:

- Zapnutí celého simulátoru – provádí jeho obsluha.

Příprava testované osoby:

- Informace jak poletí a co jej čeká (viz. obr. 22):
 - o Vzlet 30/31.
 - o Těsně před startem pohyb ruky k magnetu.
 - o Směr letu 270 – výška 4000ft.
 - o (5 skoků – vždy návrat zpět na 4000ft) .
 - o Obrát směr letu 090 – výška letu 4000ft – přijde pokyn.
 - o (5 skoků – vždy návrat zpět na 4000ft).
 - o Ukončení letu – přijde pokyn, přistání.
 - o Těsně po přistání pohyb ruky k magnetu.
- Snímač WMS uložit do čtečky
 - o Zapnout záznam.
 - o Upevnit na pravou ruku pilota.

Metodika testování pilotů



Obr. 22. Plán letu při testech reakcí pilotů

Průběh testu:

- Na PC instruktora (levý monitor) sledovat entitu letounu na mapě (viz obr. 23).



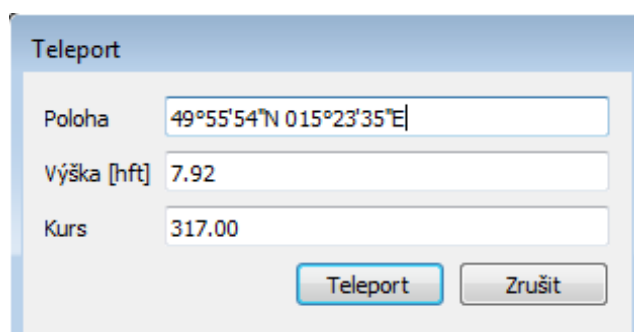
Obr. 23. Zobrazení letounu před startem na mapě instruktora

- Po srovnání kurzu letu – pravé tlačítko na entitu letounu a vybrat „Teleport“.



Obr. 24. Zobrazení lokální nabídky pro volbu „Teleport“

- Údaj Výška upravit o 400ft níže tedy ze 4,0 hft na 3,6 hft (viz. obr. 25).



Obr. 25. Okno nabídky „Teleport“

- Předpřipravit si čáru letu a posunout entitu teleportu před let. V okamžiku překrytí entit potvrdit „Teleport“ (viz. obr. 26).



Obr. 26. Vytvoření pomocné čáry – trajektorie pro pohodlnější sledování letu.

- Po srovnání výšky letu pilotem (cca po 1-2 min) připravit další „skok“ s teleportem.

Metodika testování pilotů

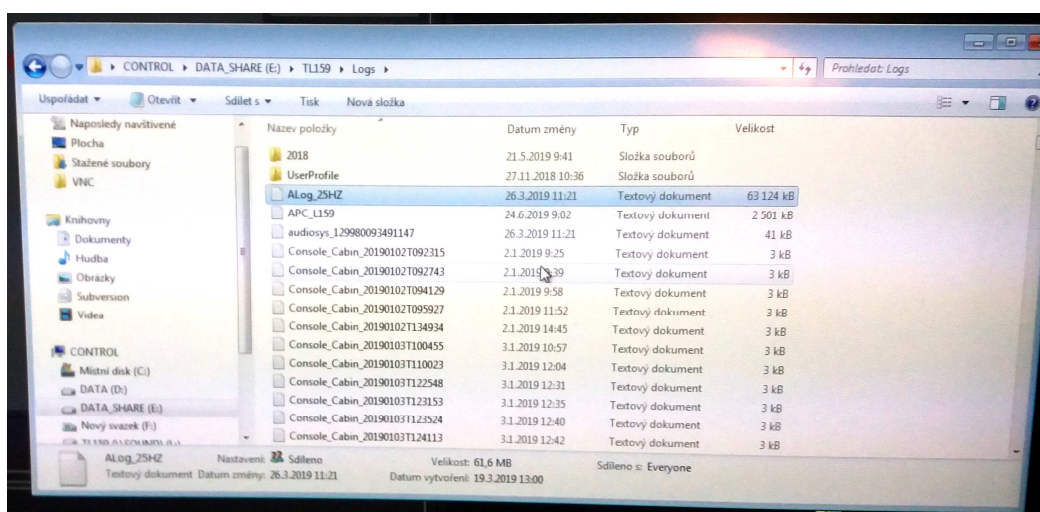
- Opakovat celkem 5x v kurzu 270, pak dát pokyn pilotovi na obrat a opět zopakovat 5x , pokynem pilotovy se ukončí testovací let.

Činnost po ukončení testu:

- Odebrat pilotu WMS, vložit do čtečky, zastavit záznam, a sejmout data do adresáře ... 2019.
- Na PC instruktora (pravý monitor) vyhledat adresář CONTROL\DATA_SHARE(E:)\TL159\Logs (viz obr. 27) a převzít soubor ALog_25HZ_01.log na flash disk.
- Načít tento záznam ve vyhodnocovacím NTB přímo k aktivnímu pilotovi.
- Přiřadit záznam WMS taktéž k aktivnímu pilotovi a misi.

Vyhodnocení letových dat:

- Rychlé vyhodnocení lze realizovat spuštěním programu v Matlabu: ...\\Data_Sim_L159\Zdroje\grafika_03.m
- Data z WMS se ukládají do ...\\HUFA_V\Data_WMS\.
- Vyhodnocení lze provést spuštěním programu ...\\WMS_DA\WMS_DA.m a vyhledáním odpovídajících dat dle IM_****



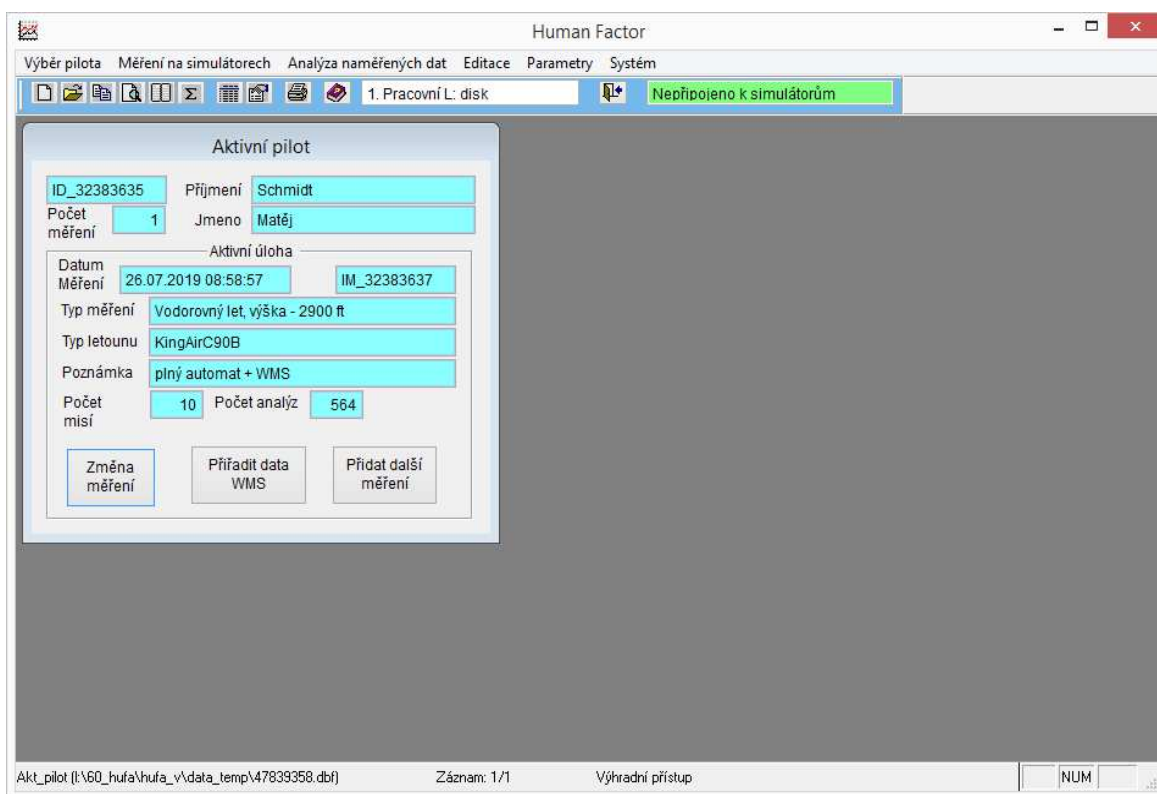
Obr. 27. Umístění datového souboru na PC instruktora KTL159

4. Programové vybavení pro evidenci, zpracování dat a vyhodnocení analýz

Pro kompletní testování a následnou analýzu naměřených dat bylo vytvořeno několik programových aplikací. V této kapitole je uveden přehled jednotlivých programů, popsány jejich účel, využití a možnost dalšího rozvíjení. V žádném případě nenahrazují kompletní popis ovládání. Ten by především u prvního programu pro evidenci byl značně rozsáhlý.

4.1. HUFA_V.EXE - Programové vybavení pro evidenci všech pilotů, jejich misí a výsledků analýz, včetně grafických výstupů

Základním programem, který umožňuje poměrně pohodlnou evidenci celé agendy kolem testování reakcí pilotů je evidenční program HUFA_V.EXE. Náhled na základní okno je na obr. 28. Jde v podstatě o rozsáhlou databázi údajů, které se bezprostředně váží k testování pilotů.



Obr. 28. Náhled na okno evidenčního programu

Program umožňuje:

- Kompletní evidenci testovaných pilotů, jejich měření, vytvoření datových souborů misí (letů). Veškeré údaje jsou tzv. anonymizované pro ochranu osobních údajů. Pouze v programu lze najít souvislosti mezi pilotem, měřením,

Metodika testování pilotů

misí a výsledky analýz. Bez tohoto propojení by nebylo možné provádět opakované testování s cílem zjišťovat vycvičenost pilotů.

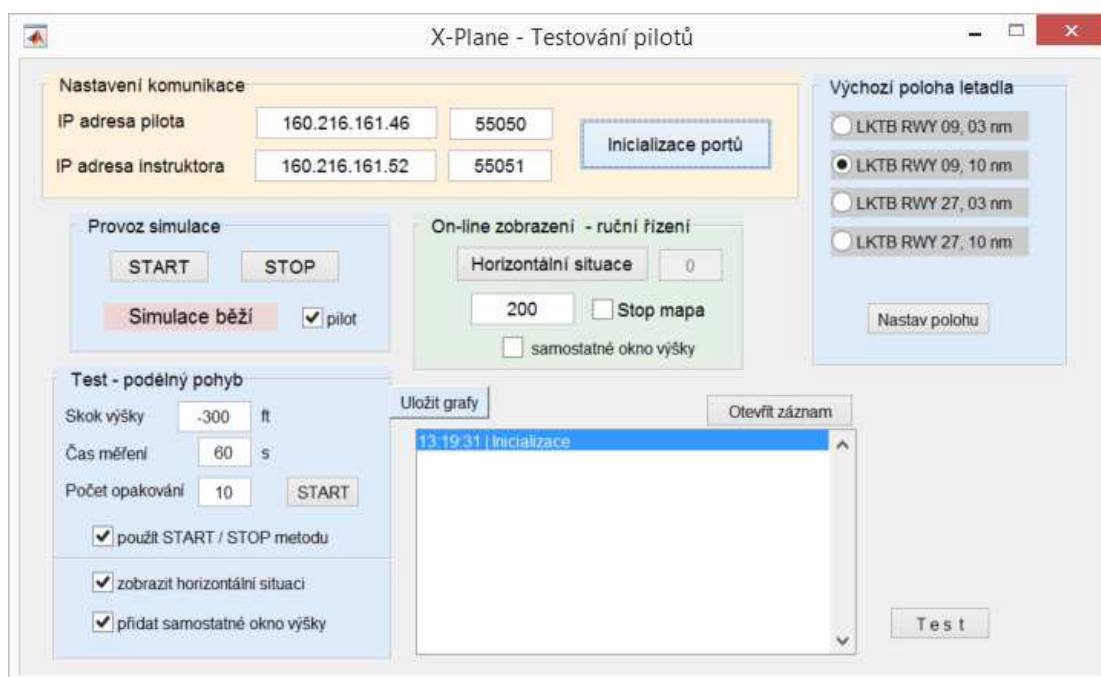
- Souhrnné předzpracování dat pro analýzu do potřebné struktury k výpočtu parametrů modelů chování pilotů.
- Načtení a evidenci vypočtených parametrů modelů po jejich výpočtu.
- Načtení a evidenci generovaných grafických výstupů z analýz modelů.
- Přípravu a generování:
 - o Protokolů z měření.
 - o Histogramů dle vybraných parametrů.
 - o Přehledových statistik analýz pilotů.

4.2. XPlanem.m – Programové vybavení pro řízení automatického testu na simulátoru X-Plane - UO

Provádění testů pilotů předpokládá vysokou shodu vstupních parametrů při opakovaných teste z důvodu statistického zpracování. Ruční ovládání testů je náročné a zdoluhavé, nemusí přinášet dostatečnou spolehlivost při opakování.

Program XPlane_m.m, jehož náhled je na obr. 29, umožňuje:

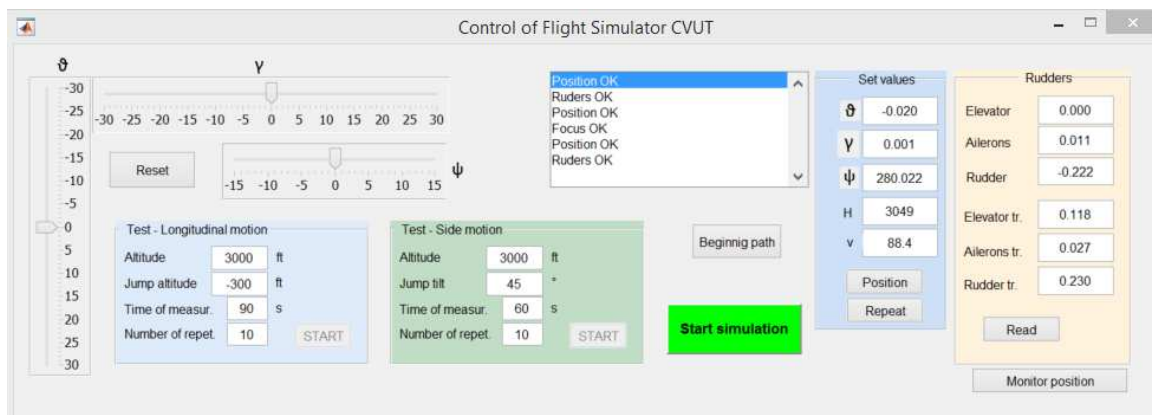
- Ovládat simulátor v režimu START / STOP.
- Nastavovat výchozí stav letounu na mapou.
- Automatické ovládání simulátoru X-Plane při testech pilotů.
- Generovat grafické výstupy ze simulací (*.png, *.fig).



Obr. 29. Náhled na okno programu pro automatické ovládání testu na simulátoru X-Plane

4.3. SimCVUT.m – Programové vybavení pro řízení automatického testu na simulátoru FG - ČVUT

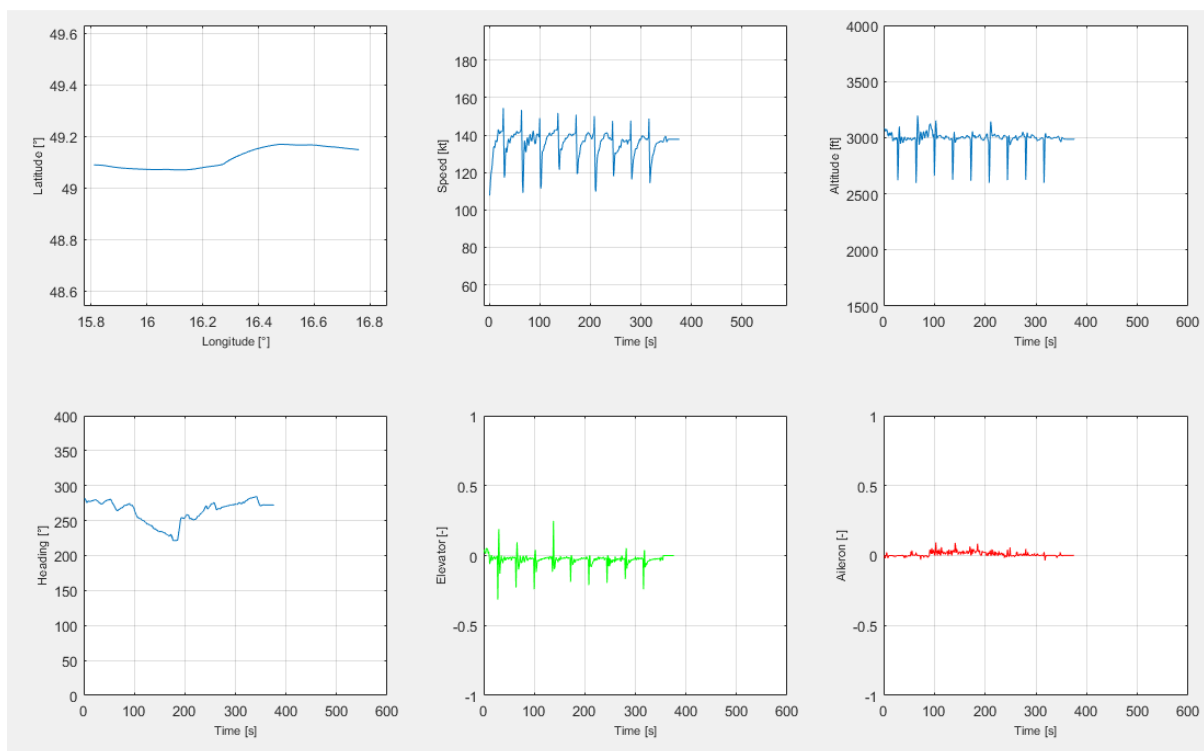
Také tento ovládací program slouží pro zautomatizování průběhu testu na simulátoru FG ČVUT. FG má schopnost průběžného ukládání vybraných letových parametrů do strukturovaného souboru *.CSV, přičemž i periodu vkládání lze definovat. Opět je nutné před testem smazat datový soubor CSV, což lze realizovat spuštěním dávkového souboru „R_LKPR24_approach_4monitoryL.bat“ nebo CTRL+ALT+T. Náhled na ovládací program je na obr. 30.



Obr. 30. Náhled na okno programu pro automatické testování pilotů na simulátoru FG - C172 - ČVUT

Ovládací program umožňuje realizovat:

- Nastavení polohy plošiny do zvoleného náklonu.
- Snímat a zobrazovat aktuální parametry letu (souřadnice polohy letu na mapě, rychlost letu, výška letu, kurz letu a oba pohyby kniplu).
- Automatické ovládání simulátoru FG při testech pilotů (v podélné rovině a ve stranové rovině).
- Generovat grafické výstupy ze simulací (*.png, *.fig) – viz obr. 31.



Obr. 31. On-line zobrazení vybraných parametrů simulovaného letu při automatickém testu na simulátoru C172 - ČVUT

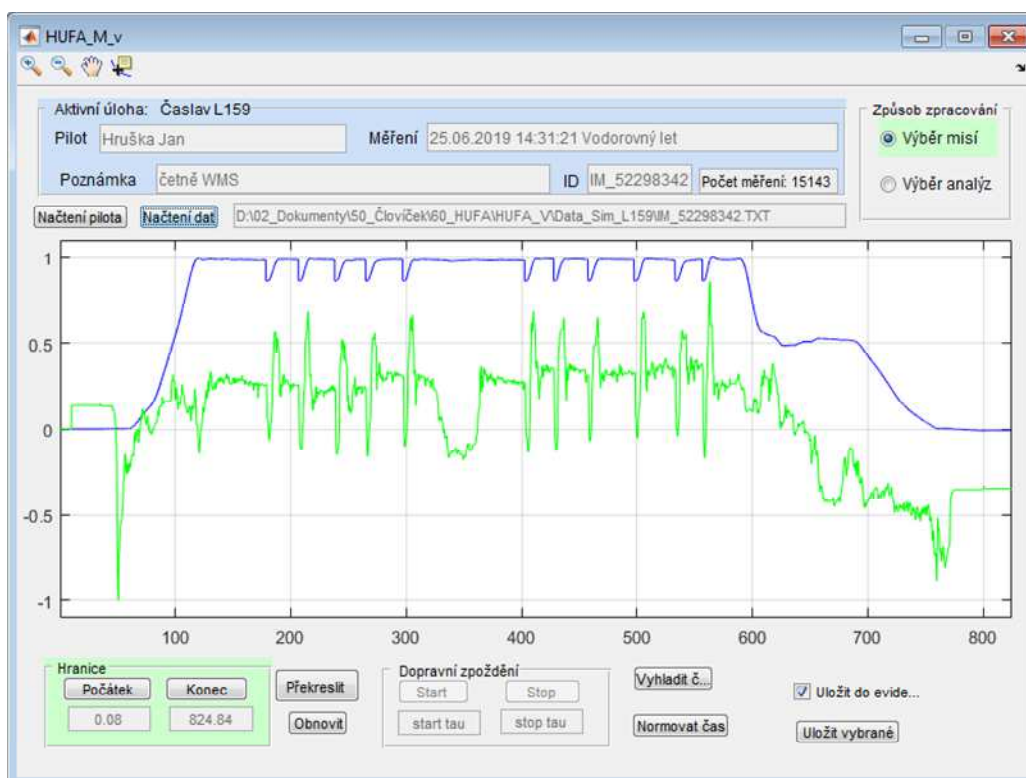
4.4. HUFA_M_v.m - Programové vybavení přípravu dat jednotlivých reakcí pilotů

Pro zpracování a přípravu dat z 5 simulátorů (viz. obr. 6) bylo nutné sjednotit formáty naměřených dat do podoby, s kterou pak následující vyhodnocovací program bude pracovat. Každý ze simulátorů poskytuje naměřená data v jiném formátu naštěstí ve všech případech v podobě textového souboru. Současně také každý simulátor ukládá data s jinou periodou vzorkování.

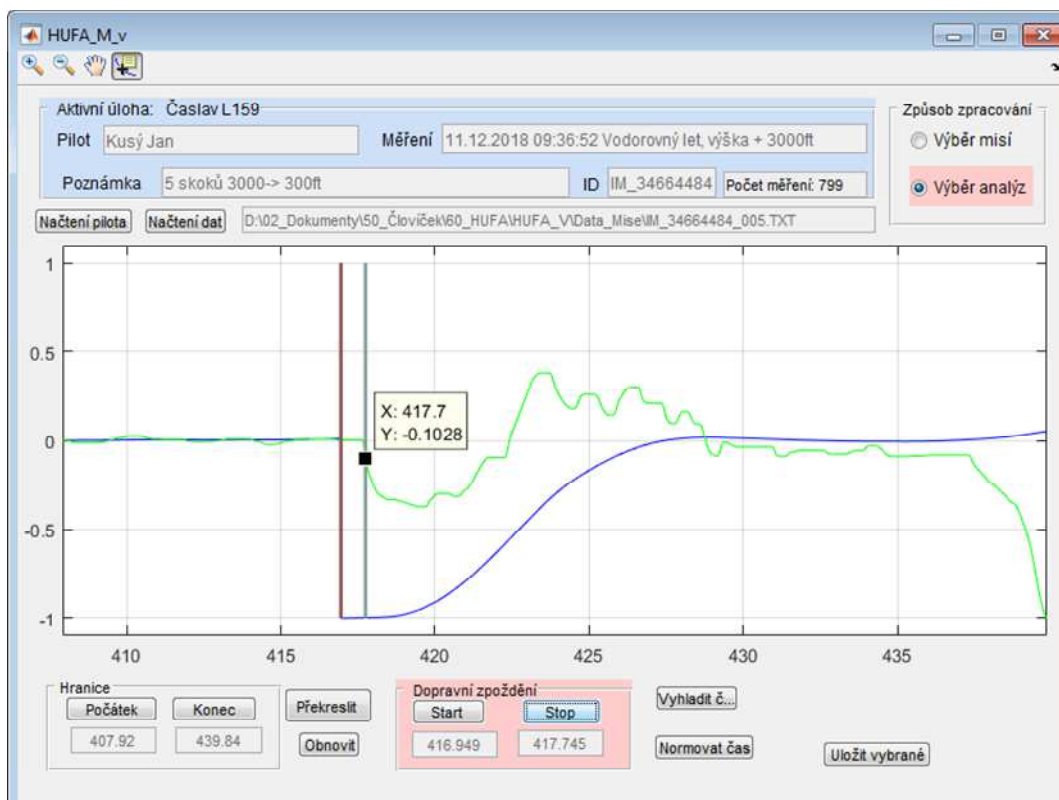
Program umožňuje:

- Načtení a grafické zobrazení letu, který byl zapsán do jednoho společného souboru (viz. obr. 32).
- Rozdělení tohoto záznamu letu po jednotlivých misích a uložení do evidenčního programu - výběr misí.
- Načtení vybrané mise a její grafické zobrazení - výběr analýz.
- označení charakteristických bodů pro následnou analýzu (viz. obr. 33) - počátek záznamu, konec záznamu, počátek „skoku“, okamžik reakce pilota.
- Uložení takto zpracovaných údajů do souboru typu *.mat pro další zpracování v programu pro matematickou analýzu.

Metodika testování pilotů



Obr. 32. Náhled na okno programu pro přípravu dat pilotů – výběr misí



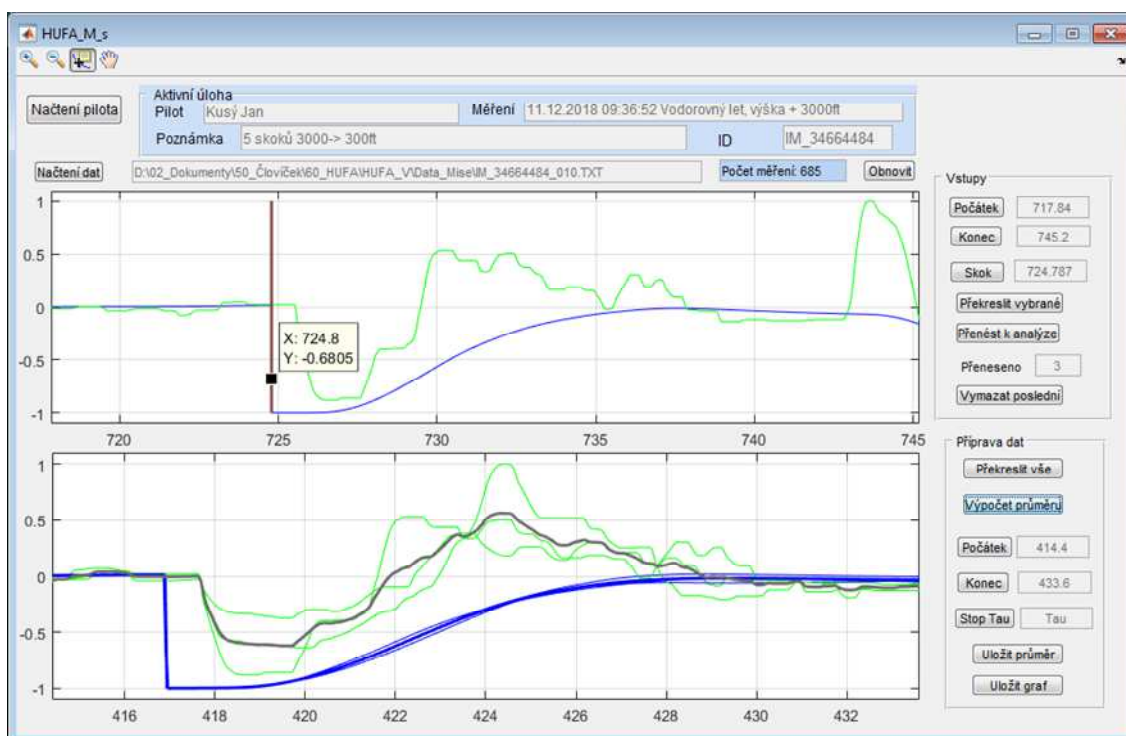
Obr. 33. Náhled na okno programu pro přípravu dat pilotů – výběr analýz

4.5. HUFA_M_s.m - Programové vybavení pro přípravu dat při průměrování reakcí pilotů

Tento program zpracovává data misí pro přípravu na statistické vyhodnocení reakcí pilota v průběhu jednoho letu - obr. 34. Většinou jde o deset misí, které jsou v průběhu jednoho testovacího letu provedeny. Dají se tedy předpokládat jejich podobné průběhy.

Program umožňuje:

- Vybrat jednotlivé mise u zvoleného pilota a graficky zobrazit.
- Označit na záznamu charakteristické místa - počátek, konec a skok výšky.
- Přenést tento záznam do graf průměrů.
- Po přenesení všech dat realizovat výpočet průměr reakcí pilota.
- Pro následnou analýzu označit opět počátek a konec záznamu.
- Označit okamžik trakce pilota.
- Uložit grafický výstup průměru.
- Uložit data vypočteného průměru do formátu *.mat pro následnou analýzu.



Obr. 34. Náhled na okno programu pro přípravu dat při průměrování reakcí pilotů - misí

4.6. HUFA_Batch_mat.m - Programové vybavení pro výpočet matematických modelů pilota – dávkové zpracování

Z důvodu časově náročných výpočtů parametrů matematických modelů reakcí pilotů byl připraven program HUFA_Batch_mat.m, který pracuje dávkovým bezobslužným způsobem. Datové soubory misí s definovanými charakteristickými body na průbězích ve formátu *.mat jsou z definovaného adresáře postupně načítány a prováděna analýza.

Program realizuje:

- Postupné načtení vstupních datových souborů.
- Iterační výpočet parametrů 6-ti matematických modelů chování pilotů.
- Záznam (log) realizované činnosti.
- Záznam vypočtených parametrů (běžný *.txt soubor).
- Grafické uložení vypočtených průběhů z analýz (*.PNG a *.FIG soubor)

Program nemá obslužné okno, vše se odehrává a obsluhu informuje okno COMMAD programu MATLAB.

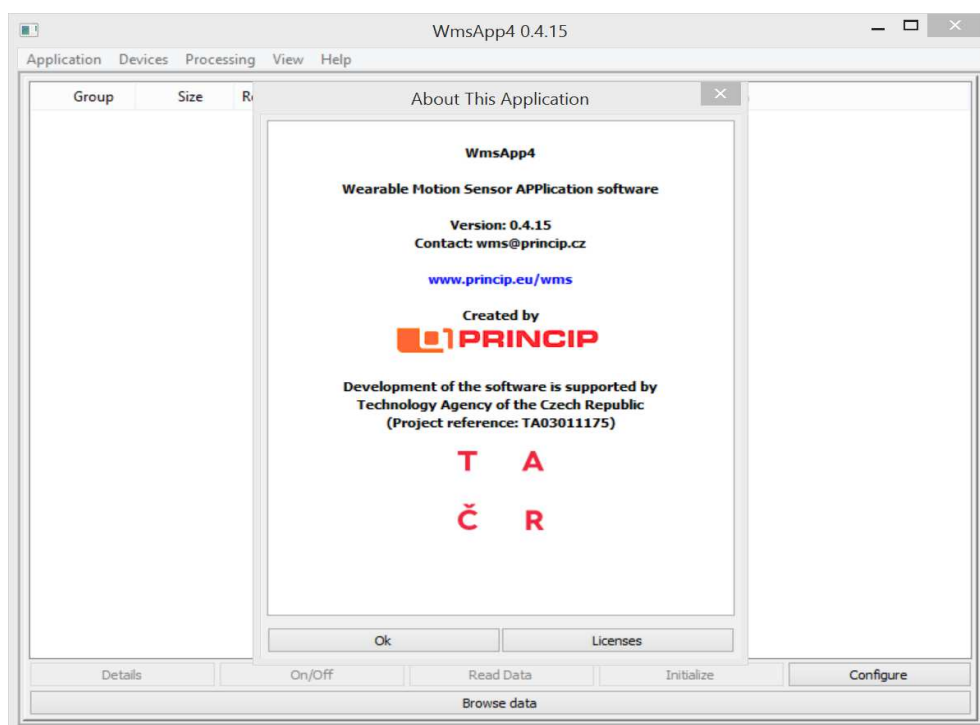
4.7. WMSApp.EXE – program na obsluhu pohybového snímače WMS

Pro měření pohybu zápěstí u testovaných pilotů při reakci na změnu parametrů letu se využil pohybový snímač WMS a k němu komerčně dodávaný software na plné zpracování dat ze snímače (viz. obr. 35.). Snímač totiž ukládá data ve svém interním formátu, který není možné lehce dekodovat. Snímač je k PC a tedy i k SW připojen přes dodávanou čtečku a rozhraní USB.

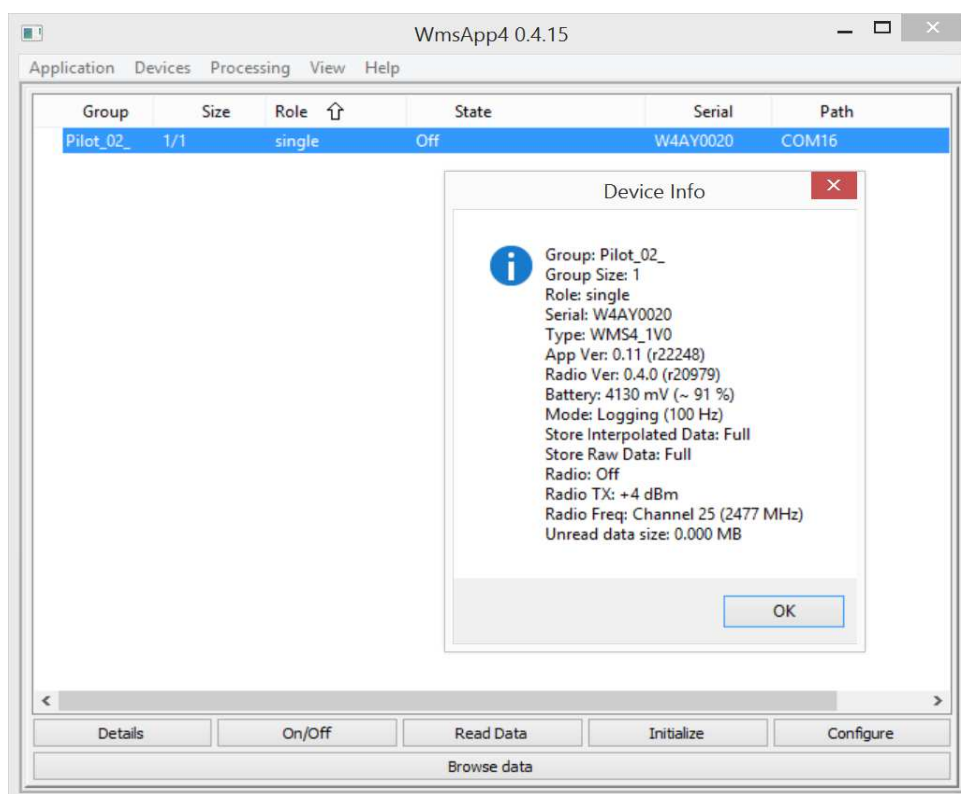
Dodávaný SW umožňuje:

- Plnou správu více snímačů WMS u nichž provádí (viz. obr. 36):
 - o Plnou identifikaci kusu snímače.
 - o Správu nabíjení vnitřní baterie.
 - o Řízení stavu START / STOP pro realizaci záznamu (viz obr. 37).
- Čtení zaznamenaných údajů do zvoleného adresáře v PC.
- Konverzi zvoleného datového souboru do formátu *.tsv, který v textovém formátu a je již možné jej načít do vyhodnocovacího programu v MATLABu (viz. obr. 38).

Metodika testování pilotů

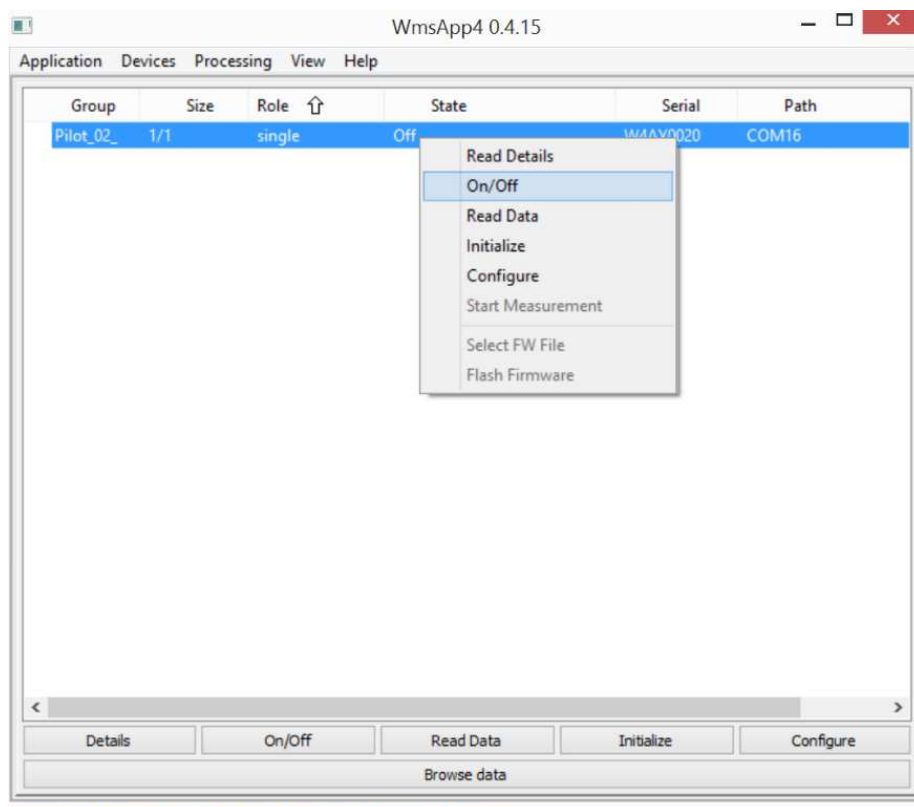


Obr. 35. Náhled na úvodní okno programu WMSApp

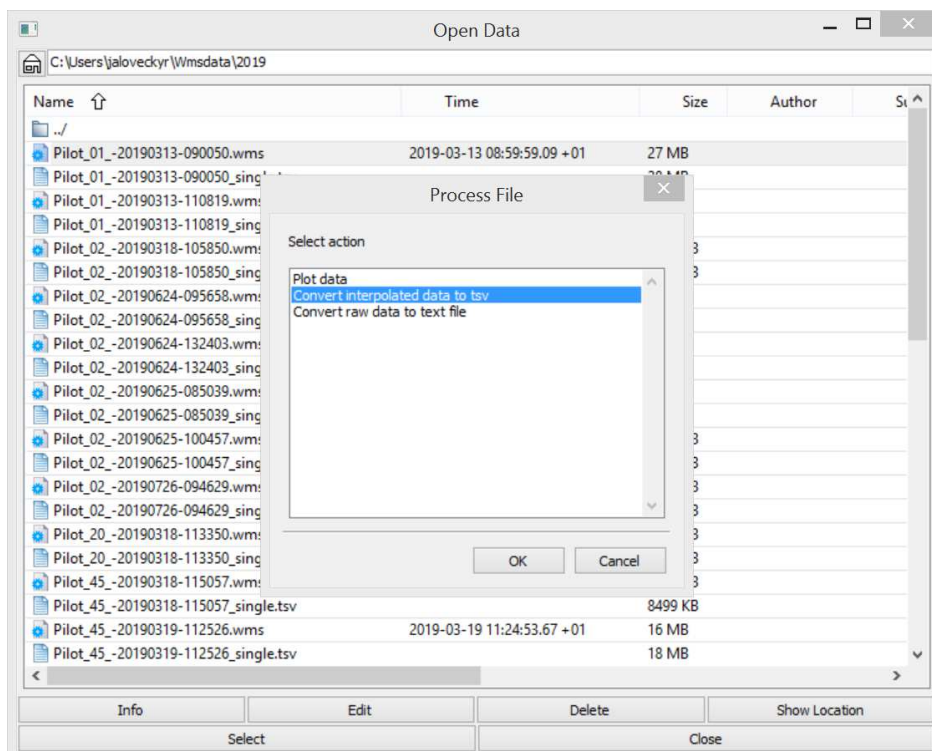


Obr. 36. Náhled na okno programu WMSApp s připojeným snímačem a jeho parametry

Metodika testování pilotů



Obr. 37. způsob zapnutí záznamu na připojeném snímači WMS.



Obr. 38. Konverze vybraného záznamu snímače WMS do formátu *.tsv pro další zpracování.

5. Literatura

Kolektiv autorů seskládal využitelnou literaturu, ať již vlastním publikováním nebo získanou internetovou rešerší a vytvořil ucelený seznam literatury s webovým přístupem na adrese:

<https://user.unob.cz/jalovecky/HMI/>

Konkrétní citace v této metodice

- [1] D. T. McRuer, E. S. Krendel, "Mathematical Models of Human Pilot Behavior", AGARD AG-188, 1974.
- [2] McRuer, Duane, Mathematical Models of Human Pilot Behavior
- [3] Human factors models (in aviation), [on-line 20.12.2014]
<http://aviationknowledge.wikidot.com/aviation:human-factors-models>
- [4] HAVLÍKOVÁ M., Diagnostic Of Systems with a Human Operator, Doctoral Thesis, Brno University of Technology, 2008, 153 p.
- [5] БОДНЕР, В., А., Системы управления летательными аппаратами. Машиностроение, Москва, 1973.
- [6] Bořil Analýza mechatronické soustavy pilot - letadlo - autopilot z hlediska systémů automatického řízení letu, disertační práce, Univerzita obrany, Brno, 2005
- [7] DUB, M., Optimalizace spínací frekvence při PWM řízení stejnosměrných elektromotorů pomocí čtyřkvadrantového měniče, disertační práce, Univerzita obrany, Brno, 2014