



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

# MOŽNOSTI OPTIMALIZACE OVLÁDACÍCH PRVKŮ V KABINĚ LETOUNU L-39NG

THE POSSIBILITIES OF OPTIMIZATION OF THE CONTROL ELEMENTS IN THE CABIN OF THE L-39NG  
AIRCRAFT

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Filip Klečák

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Hana Procházková

BRNO 2024

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Letecký ústav  
Student: **Filip Klečák**  
Studijní program: Profesionální pilot  
Studijní obor: bez specializace  
Vedoucí práce: **Ing. Hana Procházková**  
Akademický rok: 2023/24

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 bakalářské práce:

## Možnosti optimalizace ovládacích prvků v kabině letounu L-39NG

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Letoun L-39NG vznikl jako přímý generační nástupce cvičného proudového letounu L-39 Albatros a je zejména určen k výcviku pilotů, kteří dále přechází na stíhací letouny. Mimo to může být také využíván jako lehký bitevník, průzkumný letoun nebo v rámci civilního letectví. Tato práce by se měla zabývat optimalizací ovládacích prvků v pilotní kabině L-39NG na základě provedené rešerše soudobých podobných cvičných letounů.

### Cíle bakalářské práce:

- Rešerše uspořádání ovládacích prvků v kabinách soudobých konkurenčních cvičných letounů (popř. letadel, na které se piloti L-39 cvičí – JAS-39 Gripen, F-35 Lightning II),
- závěry s identifikací prvků vhodných pro optimalizaci v budoucích verzích, zdůvodněním a pokud je to efektivní návrhem možných řešení.

### Seznam doporučené literatury:

EMACC Guidebook. European Military Airworthiness Certification Criteria (EMACC) Guidebook. European Defence Agency, 2014-01-29.

EMACC Handbook. European Military Airworthiness Certification Criteria (EMACC) Handbook. European Defence Agency, 2018-02-01.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Efektívne spracovanie dizajnu kabíny je jedným z hlavných predpokladov vytvorenia úspešného letúna. Ešte významnejšie sa toto tvrdenie potvrdzuje vo sfére vojenského letectva, ktoré často vyžaduje dokonalú súčinnosť medzi pilotom a letúnom. Táto práca sa zameriava na optimalizáciu ovládacích prvkov v kabíne letúna Aero L-39NG, nového cvičného letúna vytvoreného českou spoločnosťou Aero Vodochody AEROSPACE. Letún patrí do skupiny cvičných prúdových letúnov, zastávajúcich dôležitú funkciu vo výcviku vojenských pilotov pokračujúcich na bojové letúny. Zvolenou metódou riešenia je rešerš podobných cvičných ako aj moderných bojových letúnov, skúmanie a porovnanie použitých ovládacích prvkov a vybavenia. Cieľom je na základe trendov pozorovaných na skúmaných lietadlách vytvoriť návrhy možných optimalizácií v rámci kabíny.

### **Kľúčové slová**

kabína, ovládacie prvky, optimalizácia, ergonómia, cvičný letún, Aero L-39NG, Aero Vodochody

## **ABSTRACT**

An effective cockpit design is one of the main prerequisites for creating a successful aircraft. This statement is even more pronounced in the sphere of military aviation, where perfect synergy is usually required between the pilot and the aircraft. This thesis focuses on optimization of control elements in the cockpit of the Aero L-39NG aircraft, a new trainer airplane designed by the czech company Aero Vodochody AEROSPACE. This airplane belongs to the jet trainer airplane category, representing an important role in training military pilots progressing towards fighter airplanes. The chosen method of conduction is a research of similar trainer airplanes as well as modern fighter airplanes, examination and comparison of used control elements and equipment. The main objective is to create suggestions of possible cockpit optimizations according to the trends observed in the studied aircraft.

### **Key words**

cockpit, control elements, optimization, ergonomics, trainer airplane, Aero L-39NG, Aero Vodochody

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA**

KLEČÁK, Filip. *Možnosti optimalizace ovládacích prvků v kabině letounu L-39NG*. Brno, 2024. Dostupné tiež na: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/158101>. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojniho inženýrství, Letecký ústav. Vedúci práce Hana Procházková.

## **PREHLÁSENIE**

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému **Možnosti optimalizace ovládacích prvků v kabině letounu L-39NG** vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených v zozname použitých zdrojov.

---

Dátum

---

Meno a priezvisko

## **POĎAKOVANIE**

Rád by som poďakoval v prvom rade vedúcej tejto bakalárskej práce, Ing. Hane Procházkovej za jej pomoc, rady a dohľad pri jej písaní. Tiež by som rád poďakoval konzultantom zo spoločnosti Aero Vodochody AEROSPACE a.s za spoluprácu, rady a možnosti nahliadnuť do prostredia leteckého vývoja. Vďaka patrí aj všetkým pilotom, ktorí ako respondenti poskytli svoje skúsenosti a postrehy, pridávajúc tak praktický pohľad na problematiku tejto práce. V neposlednom rade ďakujem svojim najbližším za podporu a trpezlivosť počas môjho štúdia.

## OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>1 Certifikačné štandardy a postupy aplikovateľné pre L-39NG.....</b>	<b>10</b>
1.1 Hierarchia úradov relevantných pre certifikáciu vojenských letúnov.....	10
1.2 European Military Airworthiness Certification Criteria, vytváranie typovej certifikačnej báze.....	10
1.2.1 EMACC Guidebook.....	11
1.2.2 EMACC Handbook.....	11
1.3 Human factors, aspekty navrhovania kabíny letúna.....	13
1.3.1 Ergonómia.....	13
1.3.2 Antropometria.....	15
<b>2 L-39NG, kabína a ovládacie prvky.....</b>	<b>17</b>
2.1 Predstavenie letúna.....	17
2.2 Kabína a usporiadanie ovládacích prvkov.....	18
<b>3 Porovnanie konkurenčných strojov.....</b>	<b>20</b>
3.1 Aermacchi M-345.....	20
3.1.1 Kabína a ovládacie prvky.....	21
3.2 Pilatus PC-21.....	22
3.2.1 Kabína a ovládacie prvky.....	23
3.3 BAE Hawk T2.....	24
3.3.1 Kabína a ovládacie prvky.....	25
<b>4 Porovnanie vybraných stíhacích letúnov.....</b>	<b>26</b>
4.1 Saab JAS 39 Gripen C/E.....	26
4.1.1 Kabína a ovládacie prvky Gripenu C.....	27
4.1.2 Kabína a ovládacie prvky Gripenu E.....	28
4.2 Lockheed Martin F-16 Block 70/72.....	30
4.2.1 Kabína a ovládacie prvky.....	30
4.3 Lockheed Martin F-35A Lightning II.....	32
4.3.1 Kabína a ovládacie prvky.....	32
<b>5 Návrhy optimalizácie ovládacích prvkov v kabíne L-39NG.....</b>	<b>35</b>
5.1 Závety vyvodené z porovnania konkurenčných strojov.....	35
5.2 Závety vyvodené z porovnania vybraných stíhacích letúnov.....	36
5.3 Rozhovory s pilotmi.....	36
5.4 Možnosti optimalizácie.....	37
<b>ZÁVER.....</b>	<b>40</b>
<b>ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV.....</b>	<b>41</b>
<b>ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK.....</b>	<b>46</b>



## ÚVOD

V prostredí tak technologicky komplexnom, ako je letecký priemysel, sa snaha neustále napredovať a vylepšovať stretáva so širokou škálou komplikovaných problémov, ktoré často vyžadujú ešte komplikovanejšie riešenia. Sférou v rámci leteckého priemyslu, ktorá veľmi presne potvrdzuje toto tvrdenie je vývoj a dizajn leteckých kabín, teda kokpitov. Ide o disciplínu, ktorá naprieč históriou zažila významné zmeny prístupov. Úsilie vytvoriť technicky výhodné a pokročilé prostredie sa v súčasnosti musí konfrontovať s problematikami „human factors“, ergonómie a ďalšími princípmi, zameranými skôr na pilota, zvýšenie jeho efektivity a výkonnosti. Cieľom je vytvorenie fungujúceho rozhrania medzi pilotom a letúnom. Preto je nutné dôkladne zvážiť vplyv umiestnenia každého prvku v priestore kabíny, z pohľadu inžiniera, zákazníka, najmä však pilota.

Úspešné zvládnutie týchto úloh naberá ešte väčšiu dôležitosť v oblasti vojenského letectva. Vysoko výkonné letúny s najmodernejšími technológiami potrebujú na efektívnu operáciu rovnako vysoký výkon zo strany pilota. V situáciách vysokej pracovnej a fyzickej záťaže však aj najmenšie nedostatky dizajnu kabíny, ktoré by boli za iných podmienok možno nepostrehnuteľné, spôsobujú vážne problémy pre pilota a bezpečné pokračovanie letu. Efektívne a intuitívne usporiadanie ovládacích prvkov je preto v bojových letúnoch esenciálne.

Nástrojom na priblíženie prostredia bojového letúna sú takzvané cvičné letúny. Ide o kategóriu letúnov určenú špecificky pre výcvik pilotov. Cvičné letúny v rámci vzdušných síl predstavujú väčšinou dedikované prúdové letúny známe skôr pod anglickým názvom „jet-trainer“. Tieto letúny majú za úlohu fungovať ako premostujúci prvok medzi základným leteckým výcvikom a výcvikom na bojovom letúnovi. Z tejto funkcie pramenia požiadavky na kabínu takéhoto letúna, ktorá by mala tiež spĺňať túto funkciu, teda by mala umožniť prípravu pilota na vzhľad a fungovanie kabíny bojového letúna, s ohľadom na zachovanie prístupnosti pre pilotov začínajúcich na danom type letúna.

V spolupráci s Aero Vodochody AEROSPACE a.s., sa táto práca zameriava na letún Aero L-39NG, nový prúdový cvičný letún vyvíjaný na základe pôvodného Aero L-39 Albatros. Keďže ide o letún, na ktorom stále pokračuje vývoj aj po vstupe do sériovej výroby, sa táto práca rovnako zaoberá možnosťami optimalizácie spomínaného letúna, špecificky ovládacími prvkami v jeho kabíne. Cieľom tejto práce je na základe získaných informácií vyvodiť závery, ktoré by mohli byť aplikovateľné v praxi.

Úvodná časť práce predstavuje zjednodušené priblíženie certifikačných procesov a štandardov, ktoré sa týkajú témy tejto práce, ako aj prehľad princípov a disciplín, ktorých znalosť je nutná pre vývoj a optimalizáciu súčasných letúnov.

Práca pokračuje priblížením letúna Aero L-39NG, jeho kabíny a ďalej rešeršou konkurenčných a vybraných stíhacích letúnov, s cieľom získania prehľadu o ovládacích prvkoch a systémoch použitých v týchto letúnoch.

Nakoniec získané dáta sumarizujeme v záverečnej kapitole spolu s informáciami získanými v rozhovoroch s pilotmi, ktoré boli zamerané na praktické skúsenosti respondentov s cvičnými a bojovými letúnmami. Výsledkom sú konkrétne odporúčania optimalizácií, použiteľné konkrétne v prípade L-39NG, ale aj celkovo poukazujúce na štandardy a princípy vychádzajúce zo súčasného leteckého prostredia.

## 1 Certifikačné štandardy a postupy aplikovateľné pre L-39NG

Pre umožnenie akejkoľvek zmeny konštrukcie letúna je potrebné poznať postupy a úkony potrebné pre vyhovenie štandardom certifikácie.

Ako cvičný letún vytvorený pre využitie vo vojenskej sfére musí L-39NG podliehať vojenským certifikačným štandardom.

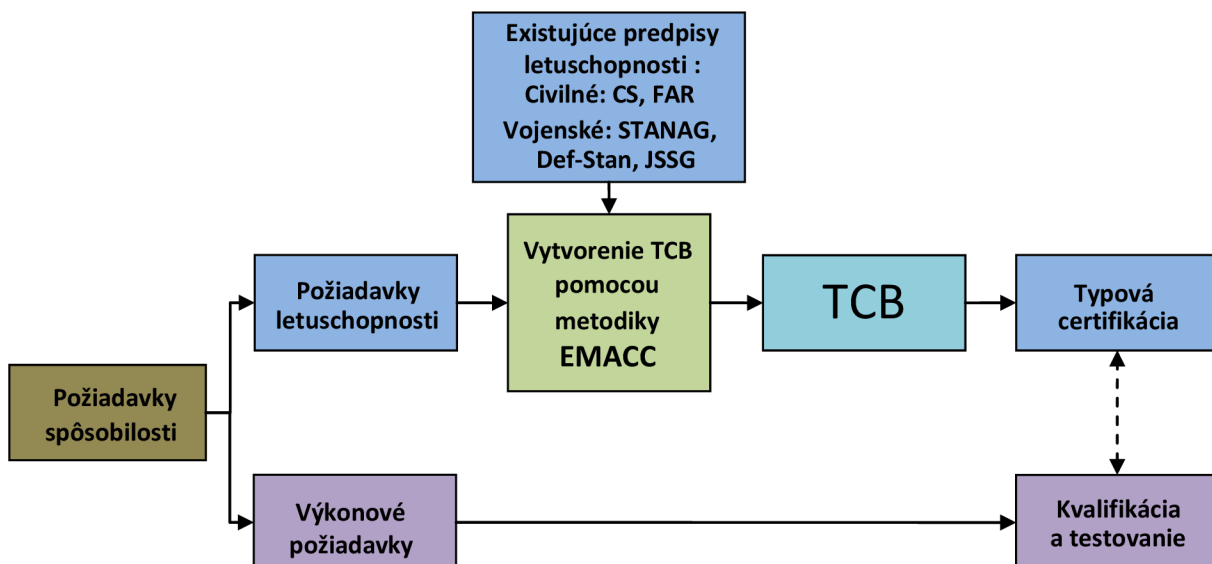
### 1.1 Hierarchia úradov relevantných pre certifikáciu vojenských letúnov

Aero Vodochody je český výrobca lietadiel, preto spadá pod pôsobnosť Európskej obrannej agentúry (EDA). Tá funguje ako regulačný a usmerňujúci orgán na úrovni Európskej únie pre jednotlivé Národné vojenské letecké úrady (NMAA). Pre Českú republiku je týmto úradom Odbor dohľadu nad vojenským letectvom, patriace pod civilnú sekciu Ministerstva vnútra ČR.

### 1.2 European Military Airworthiness Certification Criteria, vytváranie typovej certifikačnej bázy

Pri predložení požiadavky na certifikáciu nového leteckého systému, je národný úrad zodpovedný za vytvorenie typovej certifikačnej bázy (TCB), vytvorenej pre konkrétny špecifický prípad. TCB predstavuje súhrn všetkých príslušných požiadaviek, ktoré musí výrobca splniť pri certifikácii leteckého systému. Pre všetky členské NMAA boli vytvorené tzv. Európske vojenské certifikačné kritériá letovej spôsobilosti (EMACC), s cieľom poskytnúť východiskový dokument pre vytváranie TCB a certifikačný proces [1]. Ide o dokument obsahujúci rámec certifikačných kritérií, slúžiaci pri určovaní letovej spôsobilosti pre všetky, posádkou riadené a bezpilotné letecké systémy, s pevnými aj pohyblivými nosnými plochami [2]. Je to základový dokument používaný jednotlivými NMAA na definovanie TCB.

Na obrázku 1.1 je ilustrované oddelenie požiadaviek na letuschopnosť a výkonových požiadaviek, ktoré nie sú predmetom certifikačného procesu. Ďalej obrázok popisuje proces certifikácie, počínajúc so zadaním požiadaviek na letún, ďalej výberu aplikovateľných kritérií z predpisov uvedených v EMACCu. Nakoniec po vytvorení TCB a splnení v ňom uvedených kritérií môže výrobca prejsť k typovej certifikácii.



Obrázok 1.1 Schéma certifikačného procesu a oddelenia kvalifikácie od certifikácie[1]

### **1.2.1 EMACC Guidebook**

Keďže každý letún a letecký systém má špecifickú úlohu a určenie, aj proces certifikácie či jednotlivé kritériá sú špecificky zvolené pre daný systém. Pre definovanie a uľahčenie týchto procesov slúži EMACC Guidebook, teda Sprievodca európskymi vojenskými certifikačnými kritériami letovej spôsobilosti. Tento sprievodca je určený pre relevantné NMAA pri vytváraní špecifickej TCB, obsahujúci odporúčania a relevantné pravidlá a zásady. Celý proces prispôsobenia je v tejto publikácii rozdelený do niekoľkých krokov. [1]

Krok 1. – Popis základného dizajnu, roly a úloh pre letecký systém

- definovanie bezpečnostných požiadaviek

Krok 2. – Výber a dokumentácia aplikovateľných kritérií z EMACCu

- kritériá nesmú byť modifikované
- ak nie je možné splniť kritérium v plnej miere, je nutné uviesť odôvodnenie

Krok 3. – Definovanie certifikačných požiadaviek (TCB)

- výber a dokumentácia príslušných štandardov pre vytvorenie požiadaviek
- podľa potreby, vyvinutie nových štandardov pre nové technológie

Krok 4. – Kontrola vybraných štandardov pre vylúčenie protichodných požiadaviek

- overenie konzistentnosti s pôvodnými bezpečnostnými požiadavkami, hlavne v prípadoch, kde by sa mohli kritériá prekrývať

Krok 5. – Schválenie a vydanie typovej certifikačnej bázy [1]

Pre všetky jednotlivé kroky obsahuje EMACC Guidebook príslušné príklady pre presné objasnenie významu jednotlivých krokov. Je nutné poznamenať, že aj po vytvorení TCB jej znenie nemusí byť konečné a podľa potreby sa dá ďalej upravovať. [1]

### **1.2.2 EMACC Handbook**

Táto príručka obsahuje zosúladené kritériá, odkazujúce sa na jednotlivé informačné zdroje (t.j. EASA CS, Def-Stan 00-970, STANAG), aj s príslušnými referenčnými kódmi konkrétnych častí predpisu. Príručka, ako bolo spomenuté už vyššie, bola vytvorená primárne pre NMAA, s účelom flexibility, aby bol konkrétny úrad schopný primerane prispôbiť svoj prístup k danému prípadu. Z tohto dôvodu je dôležité si uvedomiť, že je písaná hlavne ako sprievodný dokument, nie ako predpísaný súhrn pravidiel, ktorý by bolo treba záväzne dodržať a v žiadnom prípade ho nemožno považovať za náhradu hotového TCB. Je dôležité mať na pamäti ciele a zámery stanovené pre daný prípad, keďže pre správne pochopenie súhrnných kritérií obsiahnutých v príručke, je častokrát nutné poznať s kritériom spojené explicitné a implicitné procesy, procedúry a postupy. [1]

Zmienené informačné zdroje sa môžu často výrazne líšiť v zámere, a preto je cieľom EMACCu zachytávať kľúčové myšlienky, spoločné pre jednotlivé zdroje, spolu s ohľadmi nutnými pre letovú spôsobilosť a bezpečnosť, ktoré musia byť brané do úvahy. [1]

Táto príručka je rozdelená na sekcie, z ktorých každá kmeňová sekcia sa zameriava na špecifický systém alebo skupinu systémov, ktoré sú predmetom certifikácie letúna. Pre účely tejto práce je najviac aplikovateľná Sekcia 9, zaoberajúca sa kabínovými systémami, ktoré predstavujú jeden z našich hlavných zámerov.

#### **1.2.2.1 EMACC Handbook Sekcia 9**

Sekcia 9 pojednáva o systémoch letovej posádky. Pojem obsahuje rozhranie medzi pilotom a letúnom, stanovišťa letovej posádky (usadenie, osvetlenie, osadenie a vybavenie), interakcie človeka a stroja, systém podpory života, núdzové systémy pre únik a prežitie, systém priehľadnosti kabíny, schopnosť prežitia zrútenia a schopnosť vzdušnej prepravy. Ďalej je Sekcia 9 rozdelená do ôsmich „certifikačných kritérií“. Jednotlivé body sú hlbšie spracované.

Zároveň sa v nich objasňujú a špecifikujú požiadavky s odkazmi na predpisy, podľa ktorých sa možno riadiť. [2]

1. Evakuačné a únikové systémy  
Systémy musia byť prispôsobené letúnovi, s účelom umožnenia bezpečného úniku pre všetky osoby na palube, v prípade letových, pozemných alebo vodných núdzových situácií. Je nutné zamedziť fyzickým prekážkam v únikových cestách, prípadne blokujúcim únikové východy. Nároky sú kladené na spoľahlivosť systému, dobu opustenia letúna, adekvátnu dokumentáciu a samozrejme bezpečnosť použitých prostriedkov a vybavenia.
2. Stanovištia letovej posádky a letecké interiéry  
Zaoberá sa dizajnom, usporiadaním a geometriou stanovišť letovej posádky, ich spracovaním, a vybavením. Ovládacie prvky a displeje by mali byť dobre viditeľné a funkčné, ich používanie by malo byť pohodlné a musia byť použiteľné v plnom rozsahu. Toto platí pre všetky letové podmienky a polohy v plnom rozsahu preťaženia. Zohľadňujú sa umiestnenie výstražnej signalizácie a označovanie núdzových prvkov, ako aj možnosti komunikácie medzi letovou posádkou a zvyškom kabíny, jej zrozumiteľnosti a čitateľnosti.
3. Osvetlenie letúna  
Rozmiestnenie, ovládanie a svetelnosť všetkých vonkajších, aj vnútorných svetelných systémov a osvetlenia. Osvetlenie by malo byť jednotné a adekvátne. Musí vyhovovať vo všetkých situáciách, rovnako aj v špecifických prípadoch (napríklad pri použití nočného videnia).
4. „Human factors“  
Zamerané na inžinierske princípy „human factors“ (tento pojem bude bližšie vysvetlený v podkapitole 1.3) v rámci dizajnu letúna. Cieľom je minimalizovať možnosť, prípadne dôsledky chýb spôsobených posádkou. Obsahuje umiestnenie a usporiadanie primárnych letových prístrojov, prehľadnosť/presnosť leteckej a technickej dokumentácie (manuály, checklisty, procedúry, atď.), rozhranie systémov posádky a úrovne hluku v priestoroch obsadených posádkou.
5. Systémy podpory života  
Systémy poskytujúce ochranu proti strate pretlaku v kabíne, proti účinkom preťaženia a veľkých výšok, protipožiarné vybavenie, ochranné vybavenie proti hrozbám, balistická ochrana, a vybavenie pre núdzové situácie na vode. Vo väčšine prípadov sa využívajú kyslíkové systémy, tlakové a tzv. „anti-g“ obleky, ochranné vybavenie proti toxickým dymom a splodinami, prípadne nafukovacie zariadenia pri operáciách nad vodnými plochami. Dbá sa na efektívne uloženie, využitie a prístupnosť pre členov posádky. Taktiež je nutné zohľadniť pôsobenie týchto systémov na ďalšie systémy letúna, je nutné aby nezhoršili ich funkčnosť pod nutne potrebnú úroveň.
6. Integrácia prehľadnosti  
Rieši systémy umožňujúce externý výhľad a ochranu pred vonkajším prostredím. Zahrňuje kryty kabíny, okná, kamery, uzamykacie systémy, atď. Veľmi dôležité je zohľadnenie núdzových únikových systémov, s ktorými musia byť tieto systémy kompatibilné pre zaistenie bezpečného opustenia letúna v prípade núdze. Ďalej sú kladené požiadavky na odolnosť voči stretu s vtákmi, záťažiam spôsobeným letom, výskyt nežiadúcich optických javov, prostriedky proti zhoršeniu viditeľnosti vonkajšími činiteľmi (dážď, námraza, atď.), možnosti ovládania krytu kabíny vo všetkých podmienkach, a tvar krytu kabíny (nemal by obmedzovať posádku v pohybe, ani používaní vybavenia.).
7. Schopnosť prežitia zrútenia

Obsahuje požiadavky na vhodnosť a dostatočnosť ochranných prvkov a procedúr pre minimalizovanie zranenia pilota, posádky a pasažierov, v prípade havárie letúna. Sekcia zahŕňa systém sedadiel a bezpečnostných popruhových/postrojových zariadení (ich odolnosť voči záťaži), funkčnosť východov po zrútení, prevencia ohrozenia časťami letúna, protipožiarne vybavenie, vybavenie pre vodné núdzové situácie, systémy varovania pred hroziacou haváriou a extrakčné systémy posádky (hlavne katapultovacie sedadlá).

#### 8. Priestory bez stáleho obsadenia

Ide o priestory, ako toalety, kuchynky a ďalšie priestory, do ktorých má posádka prístup, ale v ktorých sa nepočíta s obsadením počas celého letu. Najnutnejšie faktory, ktoré treba brať do úvahy sú výskyt horľavých materiálov, prítomnosť detektorov dymu a požiaru, dosah rozhlasových, a poplachových systémov, ochrana pred chybami ľudského faktoru, zábrana možnosti uviaznutia v danom priestore, a schopnosť odolať všetkým očakávaným letovým podmienkam. [2]

Pri projekcii a certifikácii letúna a jeho kabíny je potrebné všetky vyššie spomenuté súčasti zapracovať do miery odpovedajúcej účelu letúna. Neodmysliteľnou súčasťou vývojového procesu je v súčasnosti zohľadnenie ľudských faktorov. Ide o historicky často nedostatočne riešené hľadisko. Jeho dôležitosť bola a je dokazovaná veľa krát za tragických okolností. Je dôležité poukázať na významový rozdiel medzi práve spomenutými „ľudskými faktormi“ a pojmom „human factors“. Ľudskými faktormi sú v tomto kontexte myslené vplyvy človeka na fungovanie systému a s ním spojené chyby, ktoré k ľudskému počínaniu neoddeliteľne patria. „Human factors“ predstavujú súhrn inžinierskych princípov, ktoré sú hlbšie vysvetlené v ďalšej podkapitole.

### **1.3 Human factors, aspekty navrhovania kabíny letúna**

Pojem „human factors“ v kontexte inžinierskych princípov, nie je možné doslovne preložiť tak, aby sme zachovali jeho plný význam. Táto problematika sa predovšetkým zameriava na prispôbenie fyzických a psychických charakteristík pri dizajne zariadení a systémov určených pre ľudské použitie. [37] Vyhodnocovaním fungovania interakcií v rámci tohto rozhrania bývajú väčšinou najprínosnejšie chvíle, kedy sa v rámci nich vyskytne chyba. Paradoxne je tento jav práve tým čomu sa pri vývoji snažíme vyhnúť. Za hlavné ciele výskumu „human factors“ môžeme považovať zníženie množstva chýb, zvýšenie produktivity, zvýšenie bezpečnosti a komfortu. [4]

#### **1.3.1 Ergonómia**

Úzko prepojený pojem s human factors je ergonómia. V praxi bývajú tieto dva pojmy používané ako synonymá. Ergonómia bola historicky spájaná hlavne s fyzickou činnosťou pilota (zdvíhanie, dosah, stres, únava). Má veľa spoločného s ľudskou fyziológiou a často je spájaná s biologickou psychológiou a bio-inžinierstvom. [4] Za ďalšiu definíciu ergonómie v kontexte letectva možno považovať interakcie medzi pilotom a jeho pracovným okolím, do ktorého patria všetky súčasti kabíny, vrátane ovládacích prvkov, multifunkčných displejov, výstražných systémov a podobne.

V letectve je dobrá integrácia človeka a systému veľmi dôležitá. Túto dôležitosť treba o to viac zdôrazniť v rámci vojenského letectva. Z pohľadu zachovania požadovanej bezpečnosti a výkonnosti je potrebné zväžiť aj skutočnosť, že vojenský pilot musí operovať v potencionálne nepriateľskom prostredí. O to väčšie sú požiadavky kladené na pilota, v situáciách vyžadujúcich vysokú úroveň sústredenia a situačného vnímania. [3]

Táto podkapitola do veľkej miery čerpá z práce o aplikovanej kognitívnej ergonómii, prezentovanej na konferencii EPCE v roku 2022 [3]. V tejto práci je väčšina poznatkov

zameraná hlavne na stíhacie lietadlo JAS 39 Gripen švédskej firmy Saab AB. Práca však obsahuje univerzálne myšlienky a poznatky získané v praxi pri vývoji vojenských letúnov, aplikovateľné rovnako aj pre naše účely, keďže L-39NG podlieha podobným požiadavkám.

Analýzou literárnych zdrojov a rozhovorov so zamestnancami s bohatými skúsenosťami vo vývoji, boli autori vyššie spomínanej práce schopní vytvoriť princípy dizajnu z hľadiska (kognitívnej) ergonómie. Tieto princípy sú ďalej priblížené, spolu s vysvetleniami.

1. Konzistentnosť

- čo vyzerá podobne by malo podobne fungovať
- rovnaké činnosti by mali viesť k rovnakým výsledkom
- podobné situácie by mali byť riešené podobným spôsobom
- konzistentné použitie automatizácie, terminológie, formátovania, umiestnenia, atď.

2. Podpora mentálnych modelov užívateľa

- riadenie sa podľa mentálnych modelov užívateľa, nie dizajnéra
- napodobnenie zaužívaných konceptov, ktoré užívateľ pozná
- použitie jazyka užívateľa, poskytnutie spätnej väzby, vyhnúť sa nerelevantným informáciám
- prispôbienie pre nováčikov aj expertov, ochrana nováčikov pred komplexnosťou
- všetky potrebné informácie pre vykonanie úlohy by mali byť k dispozícii pri jej vykonávaní
- prehľadnosť systému
- „čo sa pohybuje v skutočnosti sa pohybuje aj pri indikácií“

3. Zachovanie jednoduchosti

- odstránenie prvkov neprispievajúcich k efektívnemu použitiu
- informácie používané na chvíľu by nemali byť zobrazené dlhodobo
- použitie predvolených nastavení
- často vykonávané úlohy by mali byť uľahčené
- zobrazenie dát v použiteľnom formáte, obmedzenie separačných čiar
- zjednodušenie symboliky so zachovaním pochopiteľnosti
- zobrazenie primárnych informácií na jednom displeji
- minimalizovanie užívateľských možností
- zoskupenie mentálne prepojených informácií

4. Použitie farieb

- použitie monochromatickej schémy, farby by mali byť použité iba ako doplnková informácia
- obmedzenie počtu farieb na 5+/-2, vyhýbať sa prehnanému použitiu
- používať farby v užívateľom očakávaných prípadoch a situáciách
- udržanie konzistentnosti farieb v rámci systému

[3]

Pri vývoji kabíny letúna sa nevyhnutne vyskytnú prípady, kedy je nutné urobiť rozhodnutia, ktoré často vedú ku kompromisom. V kontexte ergonómie sú najčastejším prípadom týchto situácií konflikty medzi dizajnovými a technickými princípmi, respektíve ekonomickými faktormi. [3]

Príkladom dizajnovotechnického problému môže byť napríklad umiestnenie HUD (Head-up display). Prístroj je v kabíne špecificky umiestnený, keďže musí byť kalibrovaný spolu so zbraňovými systémami. V tomto prípade má technické hľadisko prioritu a môže nastať situácia, kedy by nám HUD alebo jeho súčasť, blokoval výhľad na prístroj, alebo ovládací prvok v rámci kabíny.

V praxi je potrebné všetky hľadiská vyvážiť do uspokojivej miery. Historicky sa ergonómii často nevenovalo dostatočné množstvo pozornosti, uprednostňovali sa iné, za daných okolností „dôležitejšie“ faktory. Jej dôležitosť a vplyv z nej však v súčasnom leteckom prostredí robia neodmysliteľnú súčasť vývojového procesu a výskumu.

### **1.3.2 Antropometria**

Ďalšou dôležitou súčasťou princípov human factors je antropometria.. Ide o vedu, ktorá sa zaoberá rozmermi ľudského tela. V prípade letectva ide o zohľadnenie charakteristík fyzických daností určitej populácie, pre ktorú sa prispôsobuje kabína letúna. Keďže rozdiely medzi populáciami jednotlivých národov bývajú značné, pri zohľadňovaní potrieb potenciálnych zákazníkov ide o veľmi dôležitý nástroj.

Antropometrické dáta sú pre rozsah s akým je potreba pracovať, pomerne náročne získateľné. Tento problém bol v minulosti podstatne výraznejší. V roku 1971 dáta z väčšiny dostupných medzinárodných zdrojov zozbierali Garrett a Kennedy v rámci výskumu pre Vzdušné sily Spojených štátov amerických. Odvtedy sa situácia zlepšila a pokrytie populácií sa zvýšilo vďaka technologickému pokroku a vzniku nových analytických nástrojov vhodných pre tieto účely. Podľa Kennedyho ďalšej práce [5] bol veľkým nedostatkom získaných antropometrických dát fakt, že sa väčšina z nich zameriavala iba na vojenské populácie daných národov, zatiaľ čo civilné obyvateľstvo bolo z veľkej časti opomenuté. Súčasné štúdie už častokrát sledujú aj civilné obyvateľstvo.

Získané dáta sú prakticky využívané v rámci geometrie kabíny. Vychádzajúc z amerických štandardov, za základné parametre, využívané ako hlavné referenčné body, považujeme dizajnovú polohu očí (design eye position - DEP) a neutrálny referenčný bod sedadla (neutral seat reference point - NSRP). [5]

DEP môžeme definovať ako priemer bodov umiestnených na čiare horizontálneho rozhľadu, na ktoré by sa mal byť pilot schopný dostať úpravou polohy sedadla. Tento bod je navrhnutý tak, aby v prípade, že sú do neho umiestnené oči pilota, pilot bude mať najlepší výhľad von z kabíny, na prístrojovú dosku, prístroje a osvetlenie. Zároveň bude dodržaná minimálna vzdialenosť od krytu kabíny, vrátane helmy a ďalšieho vybavenia. [5]

Druhým referenčným bodom je NSRP. Je súčasťou kabíny, nie sedadla, ako by jeho názov naznačoval. Ide o bod do ktorého je umiestnené katapultovacie sedadlo pri jeho inštalácii. Referenčný bod sedadla sa zhoduje s NSRP vo chvíli, keď je sedadlo v stredovom bode vertikálneho rozmedzia polôh sedadla. Referenčný bod je definovaný ako bod v stredovej línii sedadla, na priesečníku nestlačeného sedadlového vankúšika a chrbtovej opierky. Podobným spôsobom vieme prisúdiť tento bod aj pilotovi, pre uváženie jeho usadenia. NSRP býva preferovaný ako referenčný bod, keďže v jeho prípade ide o jednoznačný bod viazaný na konštrukciu letúna, na rozdiel od DEP, ktorý je priemerom niekoľkých bodov. Jeho stálosť je výhodná aj z pohľadu referencie pre ovládacie prvky, či už ručné alebo nožné. [5]

Pri spomenutí ovládacích prvkov môžeme ďalej premostiť na problematiku dosahov v kabíne. Ručné ovládacie prvky a ich umiestnenie s prihliadnutím na ich dosiahnutie pilotom sú dôležitou súčasťou rozloženia kabíny. Požiadavky na umiestnenie čo najväčšieho množstva prvkov, prístrojov a displejov sa veľmi často stretávajú s obmedzeniami v podobe limitujúceho priestoru na palubných doskách, nevyhovujúcej vzdialenosti, neovládateľnosti alebo nečitateľnosti v rámci možností pilota. Miniaturizácia a integrácia sú veľakrát volené riešenia, ktoré však prinášajú vlastné komplikácie, ako napríklad zhoršenie čitateľnosti, prípadne znížená istota ovládania (v prípade príliš zmenšeného ovládania môže byť v pilotovi vzbudená neistota, či pri použití ovládania dosiahne želaný výsledok). [5]

Ďalším aspektom antropometrie je osobné vybavenie letovej posádky. Ide o škálu ďalších rozmerov ktoré musí dizajnér vziať do úvahy pri projekcii kabíny. Pod týmto vybavením môžeme chápať tlakové a anti-g obleky, helmy, padákové súpravy, prípadne ďalšie súčasti

výstroje pilota. S ohľadom na potreby zákazníka je nutné prispôbiť projekciu použitého vybavenia v danej situácii, teda brať do úvahy vybavenie a jeho rozmery použité v kontexte napríklad konkrétnej krajiny. Zakomponovanie tohto aspektu výrazne zvyšuje komplexnosť vývojového procesu a môže vytvárať tie najzložitejšie problémy v rámci tohto procesu. Dve charakteristiky vybavenia najlepšie sumarizujú dôvody vznikajúcich problémov, ide o zvýšenie telesného objemu a zníženie mobility dolných, a horných končatín. Tieto charakteristiky môžu vytvárať situácie protichodného charakteru. Napríklad v prípade potreby zväčšenia kabíny pre lepšie usadenie pilota by sme priamo kontrovali problém zníženej mobility a z toho plynúcej potreby umiestnenia núdzových ovládacích prvkov bližšie k pilotovi. [5]

Pri uvažovaní antropometrických charakteristík sú podobné situácie bežné, preto je nutné pri ich riešení postupovať systematicky. Je potrebné riešiť kabínu ako celok a nezamerať sa iba na prvky na rozhraní kabíny a pilota. [5]

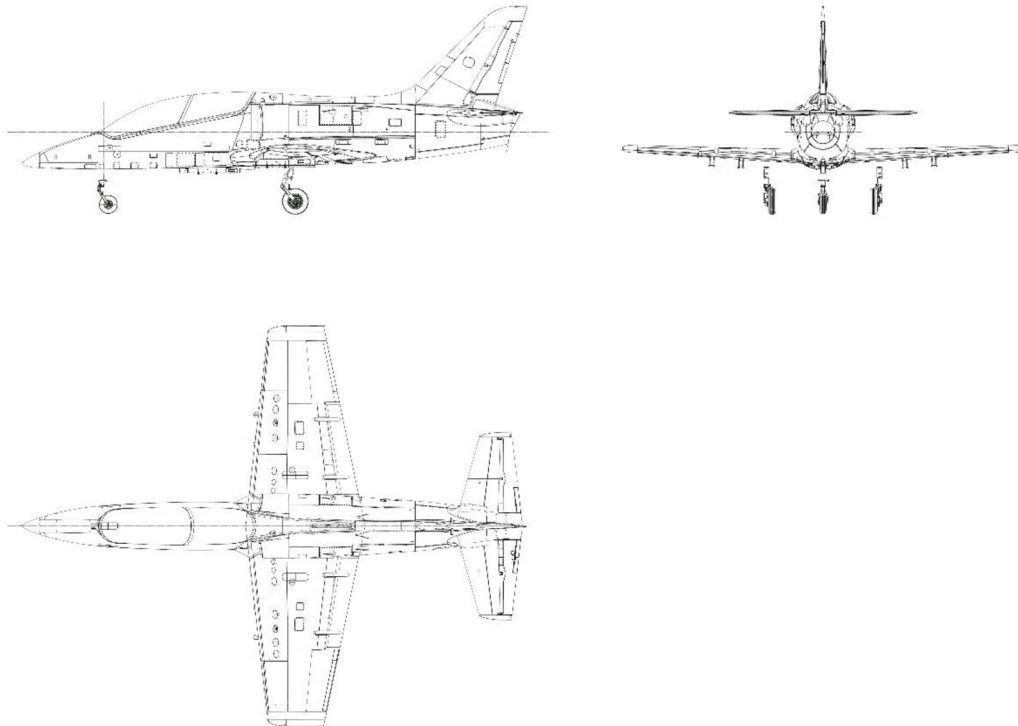
Význam antropometrie pre súčasné letecké prostredie je nenahraditeľný. V prípade uváženia, že má v novom letúne sedieť ľudská posádka, nie je možné zanedbať toto hľadisko. Tento fakt je o to dôležitejší pre vojenské letectvo. Keďže je od letovej posádky požadovaný maximálny výkon a sústredenie, je potrebné sa uistiť, že je minimalizované množstvo činiteľov, ktoré by tento zámer mohli znemožňovať.



## 2 L-39NG, kabína a ovládacie prvky

### 2.1 Predstavenie letúna

Aero L-39NG je dvojmiestny cvičný, potencionálne bojový a prieskumný letún, vyvíjaný spoločnosťou Aero Vodochody AEROSPACE. Ide o priameho nástupcu pôvodného letúna L-39 Albatros, s ktorým zdieľa úcel, ako aj veľkú časť konštrukcie.



Obrázok 2.1 Trojpohľad na exteriér L-39NG [24]

#### Rozmery

Dĺžka	11,83 m
Rozpätie	9,38 m
Výška	4,87 m
Prázdna hmotnosť letúna	3280 kg
Maximálna vzletová hmotnosť	5600 kg

#### Výkony

Maximálna rýchlosť	907 km/h
Stúpavosť	23 m/s (informácia z 2015)
Dostup	11500 m (informácia z 2015)
Maximálny dolet(vnútorne palivo)	1900 km
Výdrž	3h 45 min
Ťah motora	16,86 kN
Maximálny štrukturálny limit	+8/-4 G

Tabuľka 2.1 Rozmery a výkony L-39NG [6, 7]

Najvýznamnejším rozdielom oproti pôvodnému Albatrosu je zmena pohonnej jednotky. Pre L-39NG bol zvolený motor Williams International FJ44-4M, ovládaný systémom FADEC. So zmenou motorizácie bolo nutné osadeniu prispôbiť aj trup letúna. Ďalšou veľkou zmenou je avionika a celkové vybavenie kabíny, ktoré bude podrobnejšie preberané v ďalšej podkapitole. Výhodou tejto modernizácie je možnosť úpravy už existujúcich L-39 v pôvodných

variantoch, či už remotorizáciou alebo kompletným vylepšením na úroveň L-39NG. Letún je možné prispôbiť na „západný“ aj „východný“ štandard, podľa potrieb zákazníka. [6]

Časť údajov použitých vo vyššie uvedenej tabuľke nemusia byť presné, keďže pochádzajú z konceptových predpokladov uvedených v archívnej verzii webovej stránky spoločnosti Aero Vodochody [7], novšie údaje však aktuálne nie sú verejne prístupné.

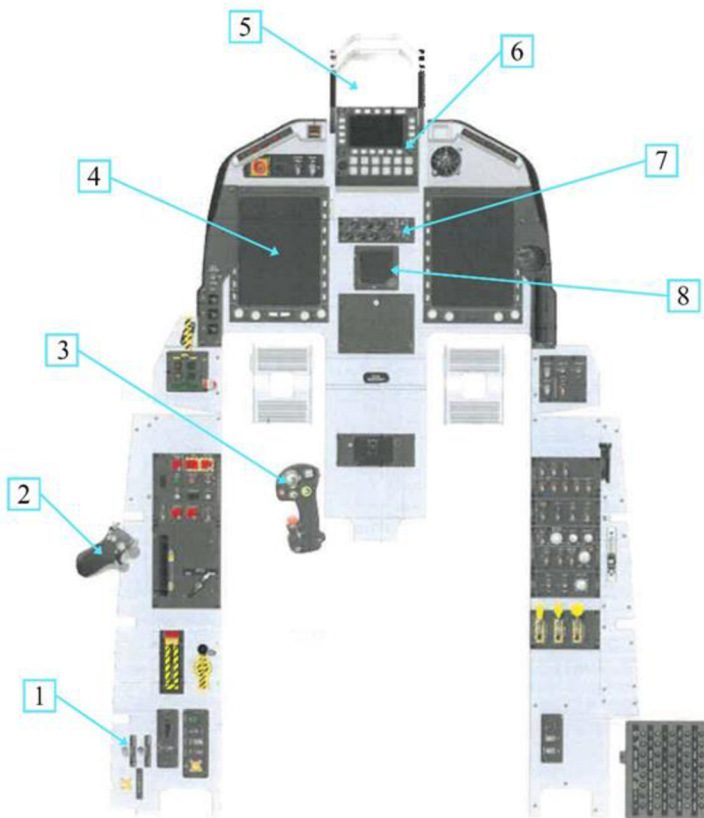
## 2.2 Kabína a usporiadanie ovládacích prvkov

Dvojmiestna kabína L-39NG je usporiadaná tandemovo. Zadné stanovište, určené pre inštruktora, je vyvýšené pre zlepšenie výhľadu z kabíny.

Obe stanovištia sú vybavené katapultovacím sedadlom Martin-Baker Mk.16CZ, ktoré nahradilo VS-1 použité v pôvodných letúnoch L-39. Jeho veľkou výhodou je parameter 0-0, ktorý predstavuje schopnosť vystrelenia pilota bezpečne aj v nulovej výške a s nulovou rýchlosťou. [6]

Ďalšou významnou zmenou oproti pôvodnému stroju je použitie avionického systému od Genesys Aerosystems, implementujúci koncept „glass cockpit“. Tento systém je softvérovo riešený so zámerom „otvorenej architektúry“, čo v praxi predstavuje uľahčenie prispôbenia vizuálneho zobrazenia prístrojových informácií. Možná je aj úprava zobrazenia informácií z pohonnej jednotky, rovnako ako aj zobrazenia výstražného systému posádky. Letún je tiež vybavený integrovaným virtuálnym výcvikovým systémom. Ide o typ systému na softvérovej báze, ktorý je schopný simulovať širokú škálu misií, vďaka možnosti simulácie palubného radaru, zbraňových systémov a ďalších funkcií. S pomocou datalinku umožňuje komunikáciu s ďalšími letúňmi, ako aj prepojeniu s pozemnými výcvikovými systémami, ďalej tak prehľbujúc možnosti simulácie. [6, 8]

Na obrázku 2.2 je zobrazené predné stanovište pilota, teda sedadlo pilota v zácviku, ak berieme do úvahy scenár výcviku. Do veľkej miery sa rozloženie ovládacích prvkov zhoduje



Obrázok 2.2 Usporiadanie predného stanovišta pilota L-39NG [25]

so zadným stanovišťom. Postrehnuteľným rozdielom je napríklad použitie priehľadového displeja HUD (obr. 2.2-5, 2.2-6 – ovládací panel) vpredu, zatiaľ čo zadné stanovište má namiesto neho inštalovaný opakovací displej, ktorý digitálne zobrazuje výhľad predného pilota cez HUD so všetkými zobrazovanými informáciami. Napriek tomu že má väčšina systémov ovládanie umožnené z oboch stanovišť, niektoré funkcie sú výnimkou. Príkladom je nastavenie priority ovládania nachádzajúce sa iba na prednom stanovišti (obr. 2.2-1), prípadne volič módu katapultáže, ktorý sa nachádza iba na zadnom stanovišti pilota. Všetky hlavné a núdzové ovládacie prvky sú však samozrejme dostupné z oboch stanovišť.

V kabíne je využitý systém HOTAS (Hands on throttle-and-stick), v súčasnosti použitý na drvivej väčšine bojových letúnov, z dôvodu jeho univerzálnosti a vysokej efektivity. Ide o systém, ktorého cieľom je umožniť pilotovi ovládať čo najviac dôležitých letových systémov a funkcií bez toho, aby musel z ruky púšťať ovládanie ťahu motora (obr. 2.2-2) alebo riadiacu páku (obr. 2.2-3). Preto je na tieto dva ovládacie prvky väčšinou naviazaná celá rada ďalších funkcií a spínačov.

Zaujímavým detailom je usporiadanie multifunkčných displejov (MFD) systému EFIS v rámci kabíny (obr. 2.2-4). Ako bude v ďalších kapitolách riešené, veľká časť letúnov vo vojenskej sfére, či už cvičných alebo bojových, používa tri multifunkčné displeje usporiadané vedľa seba. L-39NG túto konfiguráciu však nepoužíva z dvoch hlavných dôvodov. Prvým je veľkosť palubnej dosky s prihliadnutím na celkovú šírku kabíny, ktorá by v prípade tretieho displeja nemusela byť dostatočujúca pre účinné a pohodlné ovládanie. Druhým dôvodom je umiestnenie hlavice riadiacej páky, ktoré z obrázku 2.2 nemusí byť na prvý pohľad zrejme. V skutočnosti je páka umiestnená približne v strede kabíny, do určitej miery obmedzujúca výhľad na stred palubnej dosky. Namiesto displeja je v strede palubnej dosky umiestnený úložný priestor, panel ovládania vnútornej komunikácie (obr. 2.2-7) a záložný prístrojový systém (obr. 2.2-8).

### 3 Porovnanie konkurenčných strojov

Pri hľadaní možných optimalizácií v leteckom priemysle je užitočné poznať svoju konkurenciu. Súčasný letecký trh cvičných letúnov predstavuje širokú škálu strojov rôznych výkonnostných kategórií a prevedení, ktoré boli vyvinuté s rôznymi zámermi a prístupmi. V tejto kapitole si predstavíme letúny patriace do rovnakej skupiny ako L-39NG, za účelom ich porovnania. Tie boli zvolené s ohľadom na podobnosť ich funkcií, schopností, využitia a výkonnosti.

#### 3.1 Aermacchi M-345

Tento letún sa považuje za najpodobnejšieho a najbližšieho konkurenta L-39NG. Vyrábaný talianskou spoločnosťou Leonardo S.p.A., M-345 je taktiež dvojmiestny s tandemovým usporiadaním. Oba letúny používajú tú istú pohonnú jednotku, teda Williams International FJ44-4M. V porovnaní s L-39NG, je M-345 menší vo všetkých ohľadoch, napriek tomu má približne rovnakú prázdnu hmotnosť. [18]



Obrázok 3.1 Exteriér M-345 [18]

#### Rozmery

Dĺžka	9,85 m
Rozpätie	8,47 m
Výška	3,74 m
Prázdna hmotnosť letúna	3300 kg
Maximálna vzletová hmotnosť	4500 kg

#### Výkony

Maximálna rýchlosť	741 km/h
Stúpavosť	27,43 m/s
Dostup	12190 m
Maximálny dolet(vnútorne palivo)	1330 km
Výdrž	2h30 min
Ťah motora	15,1 kN <sup>1</sup>
Maximálny štrukturálny limit	+7/-3,5 G

Tabuľka 3.1 Rozmery a výkony M-345 [18,19,20]

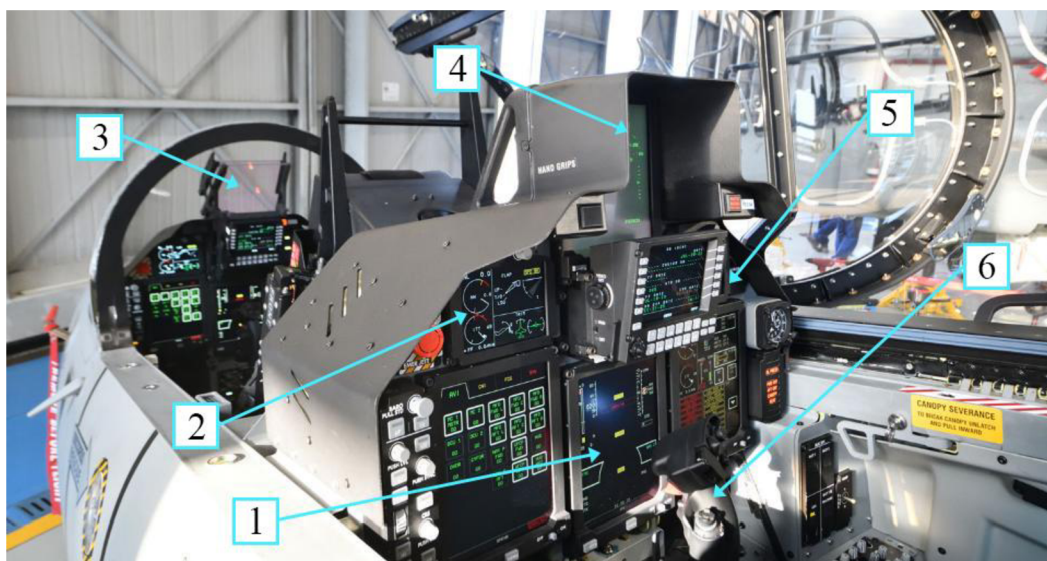
<sup>1</sup> Údaj sa líši od hodnoty zverejnenej spoločnosťami Williams International a AERO Vodochody, je však publikovaná spoločnosťou Leonardo v [18]

Aj keď sa na prvý pohľad tieto dva letúny podobajú, vieme na nich nájsť niekoľko konštrukčných odlišností. Medzi hlavné patria použitie stredplošníkovej konštrukcie, ako aj umiestnenie nasávacích otvorov pod a pred krídlom. Ďalšou významnou odlišnosťou je stavba krídla, v prípade M-345 je ľahko všimnuteľné použitie kladného uhla šípovitosti krídla.

V propagačnom videu spoločnosti Leonardo, je L-39NG označený ako hlavný konkurent s prúdovým motorom. Tieto dva letúny majú taktiež podobný zoznam potencionálnych zákazníkov, pri čom jedným z nich sú aj Vzdušné sily Slovenskej republiky, ktoré uvažujú nad náhradou súčasnej letky letúnov L-39. [21,22]

### 3.1.1 Kabína a ovládací prvky

V porovnaní s kabínou L-39NG, si môžeme na prvý pohľad v kabíne M-345 všimnúť hlavné rozdiely. Tým narážame na takmer kompletne pokrytie palubnej dosky obrazovkami MFD a záložného prístrojového systému (obr. 3.2-5 – zakrytý opakovacím displejom). Je tu použité rozloženie troch displejov MFD vedľa seba (obr. 3.2-1), teda koncepcia od ktorej bolo pri L-39NG upustené. Prihliadnuc na polohu a veľkosť hlavice riadiacej páky (obr. 3.2-6), podmienky sú podobné ako v L-39NG. V ľavom hornom rohu palubnej dosky je na obrázku taktiež vidieť menší displej (obr. 3.2-2) s informáciami o niekoľkých systémoch, vrátane polohy klapiek, výchyliet riadiacich plôch a ďalších. V rámci systémovej architektúry okrem systému EFIS, tu nájdeme aj integrovaný výcvikový systém schopný simulovať širokú škálu situácií. [18,23]



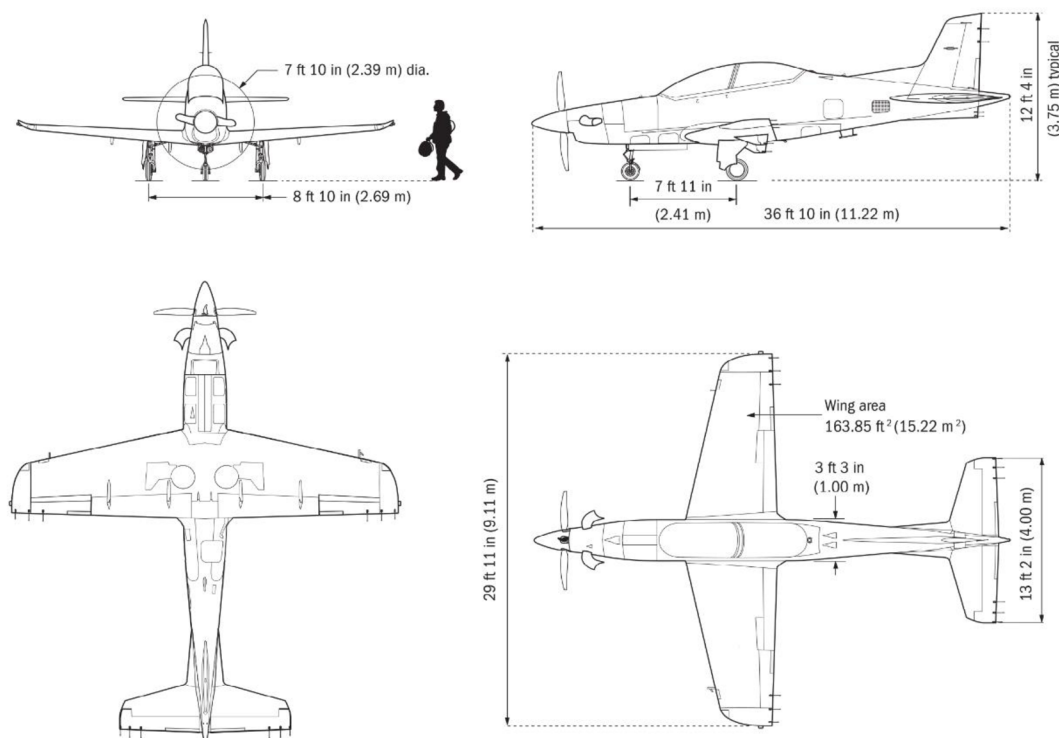
Obrázok 3.2 Kabína M-345 [23]

Keďže stále ide o relatívne nový letún, existuje len málo fotografií a zdrojov informácií týkajúcich sa kabíny tohto letúna. Kabína je vybavená katapultovacím sedadlom Martin-Baker Mk.IT16D (rovnaká rada ako v prípade L-39NG), s parametrom 0-0. Rovnako ako aj v L-39NG, aj tu je na prednom stanovišti inštalovaný HUD (obr. 3.2-3), s opakovacím displejom (obr. 3.2-4) na zadnom stanovišti. Taktiež je tu použitý systém HOTAS. [18]

Vo vyššie spomenutom propagačnom videu je jednou z výhod aj lepší výhľad zo stanovišťa inštruktora. Bez priameho porovnania týchto dvoch letúnov, je táto výhoda ťažko kvantifikovateľná a je skôr na posúdení zákazníka, pri ktorom môže úlohu zohrať aj antropometria pilota. Každopádne akákoľvek optimalizácia v tomto ohľade by si pravdepodobne žiadala zmeny v umiestnení sedadla alebo konštrukcie kabíny, ktoré by pravdepodobne svojim vplyvom prevážili nadobudnuté zlepšenie. [21]

### 3.2 Pilatus PC-21

Turbovrtuľový dolnoplošník vyrobený švajčiarskou firmou Pilatus, PC-21 môžeme považovať za jednoznačného konkurenta L-39NG. Napriek rozdielnej motorizácii, a teda aj badateľným rozdielom vo výkonoch, tento letún plní do veľkej miery tú istú úlohu ako L-39NG. Firma Pilatus prezentuje PC-21 ako priamu náhradu prúdových cvičných lietadiel, znižujúc tak prevádzkové náklady a teda aj náklady na výcvik pilotov. [10]



Obrázok 3.3 Exteriér PC-21 [10]

#### Rozmery

Dĺžka	11,22 m
Rozpätie	9,11 m
Výška	3,75 m
Prázdna hmotnosť letúna	2280 kg
Maximálna vzletová hmotnosť	3100 kg (4250 kg verzia utility)

#### Výkony

Maximálna rýchlosť	685 km/h
Stúpavosť	21,59 m/s
Dostup	7600 m
Maximálny dolet(vnútorne palivo)	1333 km
Výdrž	3 h
Ťah motora	N/A
Maximálny štruktúrny limit	+8/-4 G

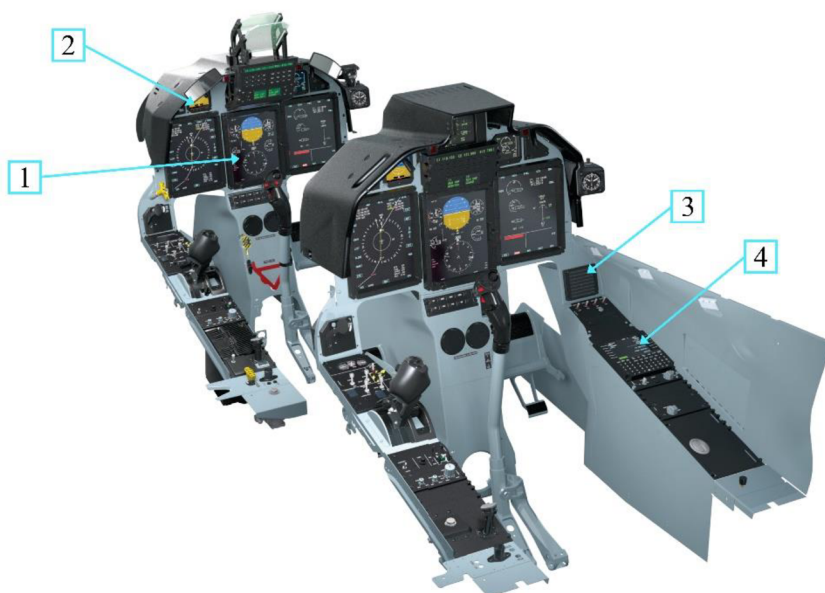
Tabuľka 3.2 Rozmery a výkony PC-21 [9,10,11]

Napriek veľmi podobným rozmerom, z výkonového hľadiska PC-21 zaostáva za L-39NG. Maximálna rýchlosť je nižšia takmer o 300 km/h a rovnako aj dostup má výrazne nižší oproti prúdovej konkurencii. Nižší dolet bez prídavných nádrží, ako aj nižšia výdrž obmedzujú jeho využitie pri dlhších výcvikových misiách. Na druhú stranu so štruktúrnym limitom

zařazená na rovnakej úrovni ako L-39NG, je tento letún stále schopný simulovať preťaženia podobné tým v skutočných stíhacích letúnoch.

### 3.2.1 Kabína a ovládacie prvky

Kabína PC-21 obsahuje v porovnaní s kabínou L-39NG niekoľko významných rozdielov. Prvým z nich je, podobne ako pri M-345, použitie tretieho plnohodnotného MFD (obr. 3.4-1), so záložným prístrojovým systémom (obr. 3.4-2, v tomto prípade nazvaným sekundárny letový displej), presunutým do ľavého horného rohu palubnej dosky. Ďalším rozdielom je dedikovaný výstražný panel, podobný ako v prípade L-39NG, ktorý je však umiestnený v pravom dolnom rohu palubnej dosky (obr. 3.4-3), respektíve vertikálne umiestnený na konci pravého prístrojového pultu. V tomto prípade môžeme konštatovať výhodnejšie umiestnenie pri L-39NG, ktoré výstražný displej umiestňuje na hornú lištu palubnej dosky, teda podstatne bližšie hlavnej výhľadovej línii. Napriek tomu, že výstražný panel PC-21 obsahuje väčšie množstvo výstražných riadkov, mnohé z týchto výstrah sú ďalej zobrazené na MFD. [10]



Obrázok 3.4 Kabína PC-21 [10]

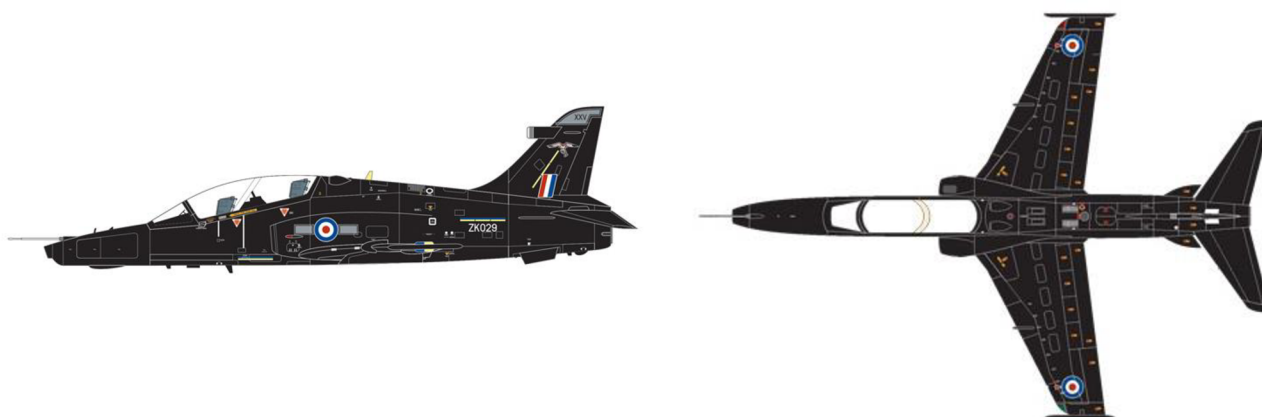
V kabíne PC-21 môžeme vidieť CDU, teda ovládaciu displejovú jednotku na pravom prístrojovom pulte (obr. 3.4-4), ktorá slúži na komunikáciu s riadiacim počítačom (FMC) a tiež MFD, ktoré sú súčasťou systému FMS, spolu jednotlivými navigačnými senzormi. Systém FMS je v tejto podobe používaný hlavne v civilnej leteckej doprave, je čoraz častejšie používaný aj vo vojenskej sfére. Obrovskou mierou prispieva k zníženiu pracovnej záťaže posádky, poskytujúc širokú škálu funkcií. Príkladom je zhromažďovanie navigačných dát od jednotlivých sensorov, s pomocou ktorých je pilot schopný veľmi presne určovať polohu letúna, a teda ho aj viesť po určenej trati, väčšinou v spolupráci s autopilotom. Ďalšími funkciami bývajú výpočty výkonových charakteristík letúna, prípadne iné komunikačné a riadiace funkcie.

L-39NG, v porovnaní s týmto letúnom, používa dva systémy EFIS so zabudovanou FMS v každej kabíne. Každý z týchto štyroch systémov je schopný pracovať nezávisle, poskytujúc tak všetky funkcie FMS, ako aj úroveň redundancie [12]. Každopádne aj použitie systému s CDU prináša svoje výhody, hlavne z hľadiska výcviku pilotov na letúny s komplikovanejšou avionickou architektúrou.

Pilatus v brožúre k PC-21 [10] prezentuje možnosť plne prispôsobiteľného „glass cockpitu“. V praxi ide pravdepodobne skôr o prispôsobenie v softvérovej rovine, teda upravenie displejovej symboliky alebo úprava zobrazenia systémov. Prispôsobenie rozloženia ovládacích prvkov sa v prípade PC-21 nezdá byť preferovaný spôsob personalizácie. Výrobca skôr zamýšľal vytvorenie kabíny, ktorá bude univerzálne rozložená pre približenie operácie letúnov, na ktorých budú piloti pokračovať vo výcviku. [10]

### 3.3 BAE Hawk T2

Letún BAE Hawk má už v súčasnosti za sebou bohatú históriu služobného využitia. Podobne ako L-39, aj Hawk sa naďalej teší modernizácií, a pokračujúcemu vývoju. Pôvodne bol vyrábaný firmou Hawker Siddeley, v súčasnosti BAE Systems. Jeho najnovšia verzia T2 čerpá z vylepšení predchádzajúcich variant tohto letúna, zlučuje ich do jednej verzie a ďalej na nich buduje. Napriek veľkej podobnosti s pôvodným Hawkom T1, ide údajne o kompletne nový letún, s minimálnym množstvom spoločných súčastí. [13]



Obrázok 3.5 Exteriér Hawk T2 [26]

#### Rozmery

Dĺžka	12,43 m
Rozpätie	9,94 m
Výška	3,98 m
Prázdna hmotnosť letúna	4570 kg
Maximálna vzletová hmotnosť	9100 kg

#### Výkony

Maximálna rýchlosť	1028 km/h
Stúpavosť	47 m/s
Dostup	13565 m
Maximálny dolet(vnútorne palivo)	2520 km
Výdrž	N/A
Ťah motora	29 kN
Maximálny štrukturálny limit	+8/-4 G

Tabuľka 3.3 Rozmery a výkony Hawk T2 [13,16,17]

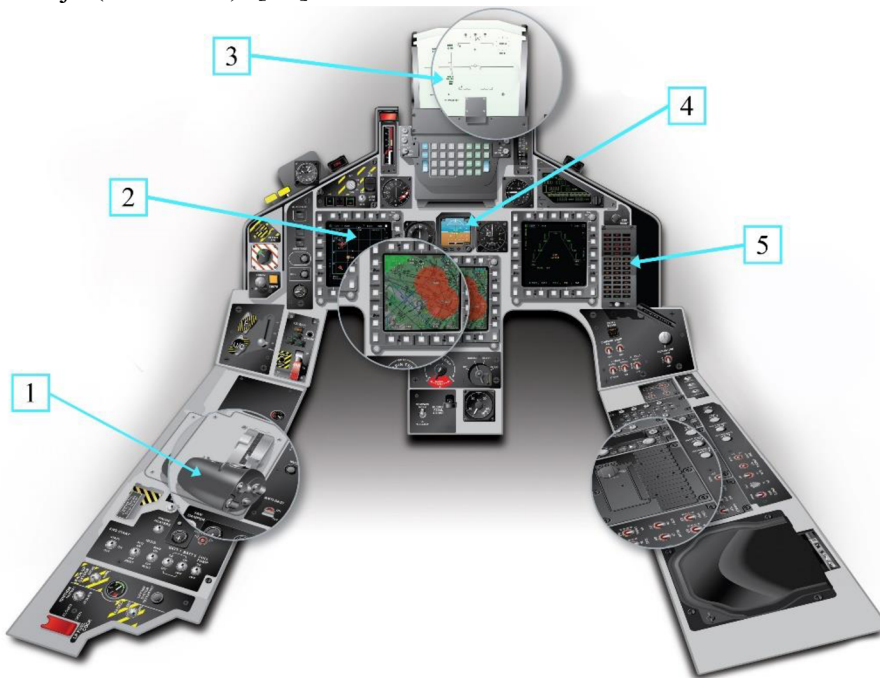
Ďalšou paralelou medzi L-39 a Hawkom je remotorizácia v novej verzii. V Hawku T2 je použitý Rolls-Royce Adour Mk.951, s vyšším výkonom, kratšou dobou odozvy a zvýšenou servisnou životnosťou, oproti predchádzajúcej generácii tohto motora, použitého v Hawku T1. Mk.951 je taktiež riadený systémom FADEC, podobne ako pohonná jednotka L-39NG, uľahčujúc tak jeho ovládanie. [13]



Napriek ich výhodám sa T2 v súčasnosti stretávajú s problémami týkajúcimi sa ich pohonných jednotiek, ktoré vo veľkej miere obmedzujú ich výcvikové nasadenie. Tieto problémy tkvejú hlavne v údržbe a dostupnosti pohonných jednotiek. [14]

### 3.3.1 Kabína a ovládací prvky

Ako aj predchádzajúce letúny ktorým sme sa venovali, aj Hawk používa systémy HOTAS (obr. 3.6-1) a HUD (obr. 3.6-3). Ďalšou súčasťou kabíny Hawku T2 je usporiadanie troch MFD do tvaru písmena V (obr. 3.6-2), pri čom nad prostredným displejom sa nachádzajú záložné letové prístroje (obr. 3.6-4). [15]



*Obrázok 3.6 Kabína Hawk T2 [15]*

Tento letún bol vyvíjaný za priamej spolupráce britskej RAF. Veľkou výhodou tejto kooperácie je možnosť priameho zdieľania požiadaviek zákazníka, možnosť konzultácie alebo ich prípadného upresnenia. Vďaka týmto možnostiam získal Hawk T2 avionické vybavenie z „prednej línie“, teda porovnateľné so systémami, ktoré je možné nájsť v letúnoch, na ktorých budú piloti, cvičení na Hawku, pokračovať vo výcviku a službe. V tomto prípade je možné konštatovať, že kabína sa do veľkej miery rozložením a do menšej miery vybavením podobá na Eurofighter Typhoon. Typhoon bol v čase zaradenia Hawku T2 do služby hlavnou bojovou platformou britského RAF, v súčasnosti túto funkciu zdieľa s letúnom F-35. [13]

Tak ako predchádzajúce letúny, aj Hawk má vlastný integrovaný virtuálny výcvikový systém schopný simulovať palubný radar, zbraňové systémy, virtuálne nepriateľské ciele, prípadne priateľské letúny. [13]

Spomenutý výstražný panel v Pilatuse, sa v prípade Hawku nachádza na pravom kraji palubnej dosky (obr. 3.6-5), teda vyššie a bližšie k hlavnej výhľadovej rovine. Podobne ako L-39NG, aj Hawk má najdôležitejšie výstražné signály umiestnené na hornom leme prístrojovej dosky, zlepšujúc tak situačný prehľad pilota aj v situáciách veľkej záťaže, kedy je pozornosť pilota smerovaná hlavne pred seba.

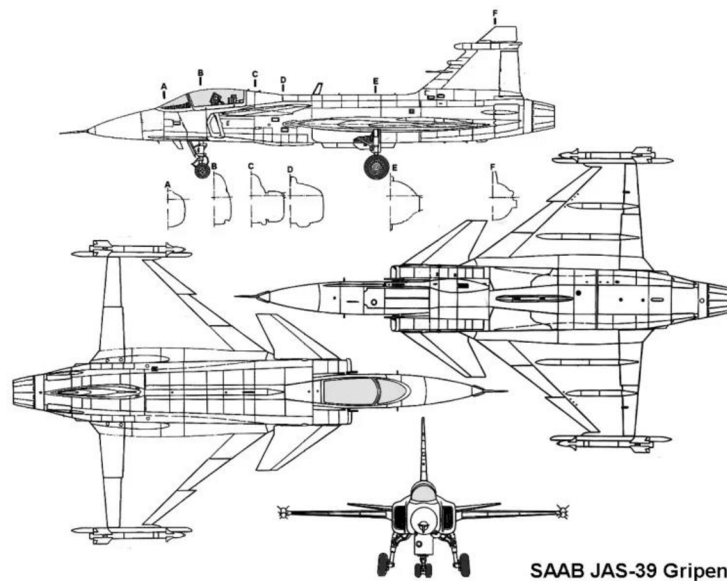
## 4 Porovnanie vybraných stíhacích letúnov

Pri výcviku pilotov vzdušných síl akejkoľvek krajiny je veľkým prínosom, keď je cvičné lietadlo schopné čo najpresnejšie priblížiť operáciu bojového letúna, na ktorý je daný pilot cvičený. Tento efekt vieme umocniť použitím podobného usporiadania a funkcií ovládacích prvkov v kabíne letúna, rovnako ako aj zavedením podobných operačných postupov. S týmto cieľom sú v tejto kapitole priblížené kabíny niekoľkých letúnov, ktoré sú a budú v budúcnosti využívané vzdušnými silami po celom svete. Boli vyberané na základe ich schopnosti a spôsobilosti, s ohľadom na ich aktuálnosť, a rozšírenie vo svete.

### 4.1 Saab JAS 39 Gripen C/E

JAS 39 Gripen je stíhací letún 4. generácie, s prvým letom v roku 1988, pôvodne skoncipovaný pre špecifické potreby Švédskych vzdušných síl (Flygvapnet), ešte počas studenej vojny. Dôraz bol kladený na možnosti operácie z krátkych a záložných letísk, ako aj cestných úsekov. Taktiež bol vyvíjaný s cieľom zjednodušenia pozemnej predletovej prípravy a obsluhy, ktorá by mala byť možná v poľných podmienkach, aj vojakmi so základnou službou. [29]

Napriek týmto špecifikám, pôvodnému zámeru, relatívne malej veľkosti a maximálnej vzletovej hmotnosti bola 1. generácia Gripenu (verzie C/D) úspešne exportovaná do vzdušných síl po celom svete, vrátane českých a maďarských. Veľkou výhodou sa stali jeho relatívne nízke náklady na prevádzku. [29]



Obrázok 4.1 Exteriér JAS 39 Gripen [28]

Krídla Gripenu sú konštruované do tvaru delta, s „kačacími“ vodorovnými riadiacimi plochami umiestnenými pred hlavným krídlom. Toto usporiadanie prispieva k celkovému množstvu vytváraného vztlaku, zlepšujúc tak pádové vlastnosti pri nízkych rýchlostiach. Taktiež však spôsobuje destabilizáciu letúna. Z jednej strany tak zvyšujú jeho obratnosť, zo strany druhej je nutné použiť elektronické ovládanie „fly-by-wire“, pre udržanie umelej dynamickej a statickej stability letúna. [31]

Gripen bol niekoľkokrát vylepšený, najväčšou zmenou však prešiel pri predstavení modernizovanej verzie JAS 39 Gripen E, ktorá so sebou priniesla kompletne vylepšenie avionického vybavenia, mimo iného aj moderný AESA radar. Integrácia nových systémov použitých v letúnoch 5. generácie (podobných ako napr. v F-35), umožnili posun Gripenu na letún generácie 4+. [29]

#### 4.1.1 Kabína a ovládacie prvky Gripenu C

Za najdominantnejšiu súčasť kabíny Gripenu C môžeme považovať širokouhlý HUD, ako aj elektronickú displejovú sústavu EP-17, vyrobenú spoločnosťou Saab Avitronics. [28]



Obrázok 4.2 Displejové vybavenie kabíny Gripenu C/D [27]

Centrálny displej, označený HSD na obrázku 4.2, zobrazuje taktické a navigačné dáta, vzťahnuté do horizontálnej roviny, na počítačom generovanú mapu. Ľavý displej je určený na zobrazovanie hlavných letových údajov, zatiaľ čo displej na pravej strane zobrazuje informácie z jednotlivých senzorových súprav, ako aj dát získaných pomocou datalinku. [28]

Gripen C/D je vybavený štyrmi obojsmernými datalinkami. Tieto systémy umožňujú zdieľanie informácií o cieľoch, ako aj ďalšie dáta so štyrmi ďalšími spriatenými lietadlami,



Obrázok 4.3 Kabína Gripenu C [28]

vrátane kompatibility s pozemnými senzormi a lietadlami typu AEW&C (Airborne Early Warning and Control). [28]

Ako bolo spomenuté v predchádzajúcej podkapitole, Gripen má zavedený systém „fly-by-wire“, miesto riadiacej páky je teda v kabíne použitý joystick (obr. 4.3-3), ktorý je súčasťou systému HOTAS. Špecifickou súčasťou tohto systému je použitie vertikálne orientovanej páky ovládača ťahu motora (obr. 4.3-1), keďže je takéto tvarovanie vo vojenskom letectve pomerne netradičné.

V pravom dolnom rohu palubnej dosky môžeme, podobne ako pri PC-21, nájsť výstražný panel (obr. 4.3-4). Napriek použitiu koncepcie „glass cockpit“ môžeme vidieť tento systém použitý aj vo vojenskom letectve, nielen v skôr riešených cvičných letúnoch. Na druhej strane panela, pri páke ovládača ťahu, sa nachádza navigačný panel (obr. 4.3-2).

Gripen je vybavený integrovaným helmovým displejom (IHMD). Tento systém poskytuje pilotovi možnosť zobrazenia hlavných letových informácií premietaných na čelný štít helmy. Okrem týchto informácií je tiež schopný zobrazit' senzorové a taktické informácie o detegovaných cieľoch, ako aj dáta zo zbraňových senzorov, ktoré pilotovi napríklad umožňujú použitie rakety vzduch-vzduch v podmienkach „high-off boresight“. Tento termín v princípe predstavuje podmienky, kedy je cieľ mimo nastrelenú rovinu zbrane a pomocou helmového displeja sme schopní cieľ zamerať, a namieriť jeho smerom vyhľadávaciu hlavicu rakety. Spomínaná technológia bola v kontexte blízkych vzdušných súbojov revolučná. V prípade Gripenu, technológiu zaviedla juhoafrická spoločnosť Denel Cumulus, ktorá v spolupráci s BAE Systems a Saab Aerospace modifikovala helmu Striker z Eurofighteru Typhoon, a vytvorila helmu Cobra. Táto helma bola čoskoro uvedená do služby v rámci Juhoafrických vzdušných síl a v októbri 2007 ju do služby zaradil aj Flygvapnet. [28]

#### 4.1.2 Kabína a ovládacie prvky Gripenu E

Vzhľadom na obrovské množstvo vylepšení uvedených v rámci verzie Gripen E, v tejto podkapitole sa budeme snažiť zamerať hlavne na vylepšenia týkajúce sa kabíny Gripenu E.

V spolupráci s brazílskou spoločnosťou AEL Sistemas bolo takmer kompletne vymenené vybavenie kabíny, na čele s novým HUD (obr. 4.4-3) a hlavne integráciou moderného širokouhlého displeja (WAD, obr. 4.4-2). Tento systém s vysokým rozlíšením predstavuje nový štandard v stíhacích letúnoch 5. generácie. Pokrýva prakticky celú prístrojovú dosku, pri čom umožňuje úplne nové možnosti zobrazenia, poskytujúc širokú škálu informácií o systémoch letúna a aktuálnej situácii. Pilot má možnosť prispôbiť si systém podľa vlastnej preferencie, vrátane možnosti úpravy rozloženia a veľkosti jednotlivých okien. Systém spolu s HUD a HMD umožňujú pilotovi nadobudnúť veľmi vysokú úroveň situačného vedomia. Navrhnutý je so zámerom chovať sa intuitívne a predvídateľne, Saab túto filozofiu označuje ako „human - machine collaboration“, v snahe čo najlepšie spojiť pilota a letún do jednej spolupracujúcej jednotky. [29,30]

Významnou zmenou je tiež inštalácia záložného prístrojového systému pod výstražným panelom (obr. 4.4-4), v pravom dolnom rohu palubnej dosky. Na opačnej strane bol navigačný panel nahradený displejom, pravdepodobne plniaci funkciu navigačného displeja a FMS (obr. 4.4-1)<sup>2</sup>.

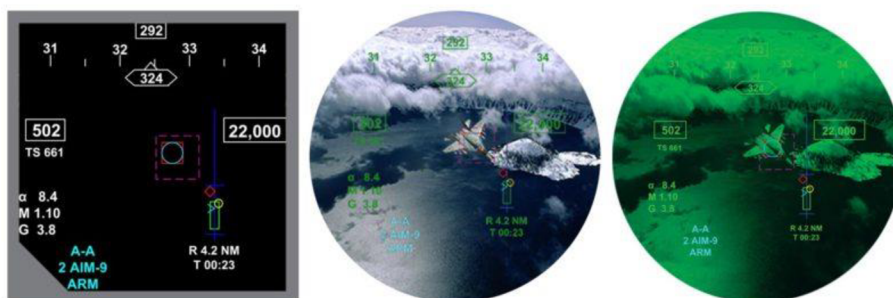
---

<sup>2</sup> Popis vybavenia kabíny nie je verejnosti prístupný, podľa umiestnenia, rozloženia ovládacích prvkov a zobrazenia na displeji je však funkciu tohto systému dobre odhadnúť.



Obrázok 4.4 Kabína Gripenu E [29]

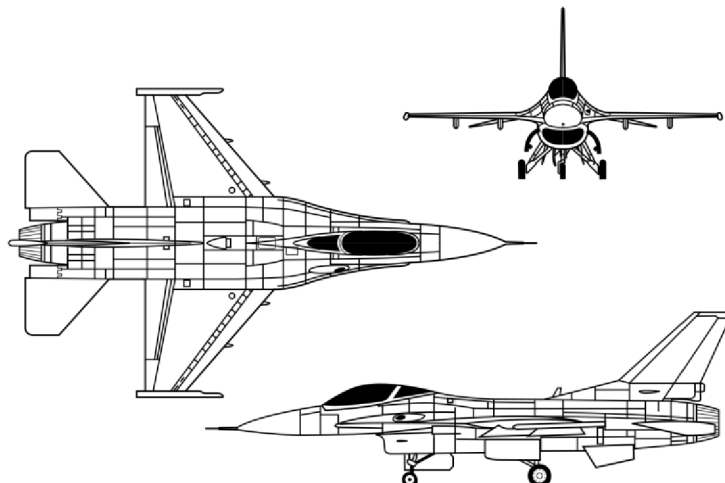
Ďalším vylepšením je použitie HMD Targo, vychádzajúcej z americko-izraelského systému JHMCS II. V porovnaní s predchádzajúcou generáciou si zachováva všetky funkcie a ďalej ich rozširuje. Nový systém umožňuje pilotovi zamerať ciele aj na zemi, pomocou senzora zameriavacieho kontajnera alebo radaru. Po identifikácii umožňuje odoslanie polohy a informácií o ciele ostatným jednotkám. Pri využití zameriavacieho kontajnera by malo byť možné aj označenie cieľa laserom a následne cieľ konfrontovať. Všetky tieto funkcie je možné ovládať s použitím HMD. Displej má taktiež modul nočného videnia, ktorý však stále umožňuje použitie farebnej symboliky z HMD. Táto symbolika je podľa potreby softvérovu prispôsobiteľná zákazníčkovi. Rovnako je možné na displeji zobrazovať výstup z termálnej kamery a datalinku. [29]



Obrázok 4.5 Symbolika, denné a nočné zobrazenie na HMD Targo [29]

## 4.2 Lockheed Martin F-16 Block 70/72

Už 45 rokov sú rôzne verzie letúna F-16 v službách vzdušných síl po celom svete. S prvým letom v roku 1974, ide o jeden z najdlhšie slúžiacich stíhacích letúnov na svete. Tomuto titulu sa môže tešiť vďaka jeho univerzálnosti, obrovskému množstvu rôznych typov použiteľnej munície, s ňou spojenej nosnosti a ďalším schopnostiam. [36]



Obrázok 4.4 Exteriér F-16 [36]

Ikonická konštrukcia tohto letúna sa počas jeho služobného života veľmi nezmenila. Ako jeden z prvých letúnov bol konštruovaný s cieľom dosiahnuť statickú nestabilitu a tým zvýšiť obratnosť. Ďalšími pozoruhodnými konštrukčnými prvkami sú aj plynulé prechody krídel a trupu, použitie superkritického profilu krídla a taktiež použitie „orezaného“ delta krídla (predĺžené delta krídlo pre zlepšenie letových vlastností pri nízkych rýchlostiach). [36]<sup>3</sup>

Najnovšia verzia F-16, Block 70/72, posúva schopnosti tohto letúna na úroveň 4,5. generácie. Najzásadnejšou súčasťou modernizácie je nový AESA radar APG-83, zdieľajúci veľkú časť komponentov s radarom letúnov F-22 a F-35. Oproti starším verziám má výrazne väčší dosah pri vyhľadávaní a sledovaní cieľov, dokáže súčasne pracovať v režimoch vzduch-vzduch a vzduch-zem, a tiež je výrazne odolnejší voči elektronickému rušeniu. Ďalšie významné vylepšenia sa nachádzajú v kabíne letúna a budú riešené v nasledujúcej podkapitole. [32]

Block 70/72 je zamýšľaný primárne, ako exportný model, keďže Vzdušné sily Spojených štátov, prevádzkujúce najväčšiu flotilu F-16, plánujú v najbližších desaťročiach začať s nahradzovaním týchto letúnov. Lockheed Martin ponúka najnovšiu verziu aj ako vylepšenie starších verzií F-16, ktoré aktuálne slúžia po celom svete. Jednak je o vylepšenia a nové letúny celosvetovo pomerne vysoký záujem, či už zo strany Vzdušných síl Čínskej republiky, pre ktorú bola v podstate táto modernizácia určená alebo ďalších krajín, vrátane Vzdušných síl Slovenskej republiky. [32]

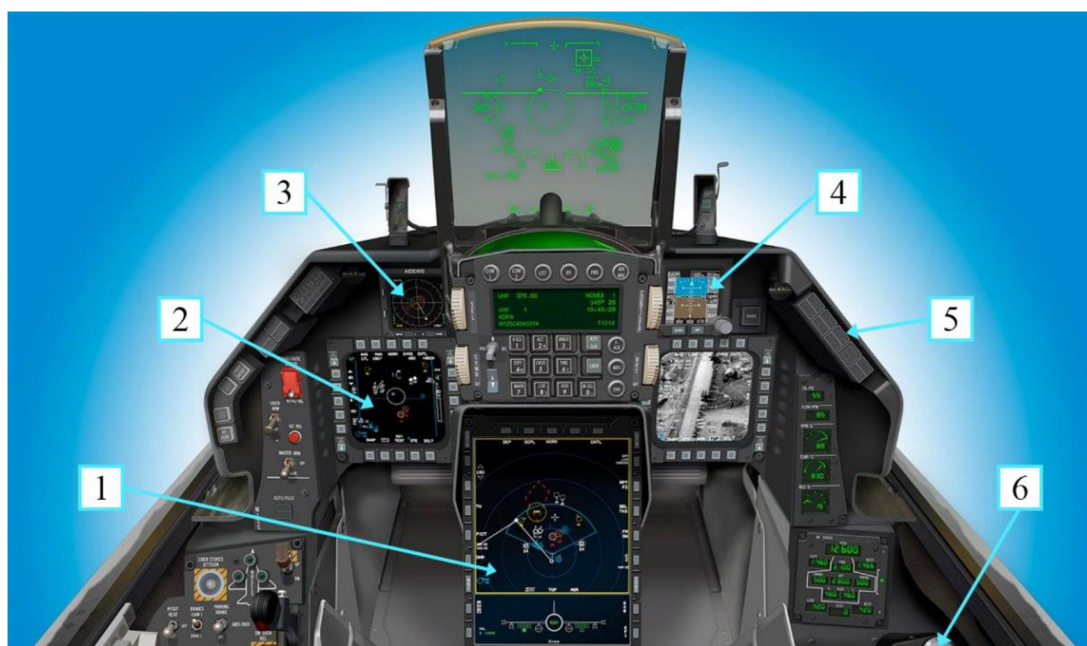
### 4.2.1 Kabína a ovládacie prvky

Rovnako ikonická, ako letún sám o sebe je kabína F-16, ktorá si počas celého vývoja zachovala svoje typické prvky a ďalej na nich budovala. Použitie systému „fly-by-wire“ si vyžaduje inštaláciu joysticku, ktorý je v tomto prípade umiestnený na pravom prístrojovom

---

<sup>3</sup> Wikipédia bola použitá ako zdroj len pre citovanie základných informácií o konštrukcii, ktoré sa dajú považovať za všeobecne známe, avšak ktoré sa ukázali ako náročné získať z iných zdrojov.

pulte (obr. 4.7-6), uvoľňujúc tak výhľadový priestor na palubnú dosku pred pilotom. Táto skutočnosť ponúka nové možnosti usporiadania prístrojov, preto má palubná doska F-16 v sebe zakomponovaný centrálny piedestál, pokračujúci medzi nohy pilota. V prípade Block 70 je na piedestáli umiestnený displej (obr. 4.7-1), umožňujúci zobrazenie sensorových dát na digitálnej pohyblivej mape, ako aj taktické informácie, digitálne letové prístroje a ďalšie obrazovky, a funkcie. Tento displej tak dopĺňa dva displeje prítomné už v starších verziách F-16 (obr. 4.7-2), výrazne tak zvyšujúc dostupnosť informácií o systémoch a senzoch letúna pre pilota. [32,33]



*Obrázok 4.5 Kabína F-16 Block 70 [33]*

Ďalším známym prvkom v kabíne je sedadlo, ktoré je netradične sklonené až o 30 stupňov, zlepšujúc tak odolnosť pilota voči účinkom preťaženia. Taktiež aj kryt kabíny je súčasťou pôvodnej koncepcie tohto letúna, poskytujúc dokonalý výhľad vďaka jednodielnej konštrukcii. [34]

Integráciu HUD a HOTAS už môžeme považovať za samozrejmosť. Novým vybavením je však HMD JHMCS II, ktorý bol spomenutý už pri Gripene E. V zásade zdieľajú rovnaké vlastnosti a schopnosti. Dá sa predpokladať, že podobné systémy sa budú postupne ďalej zdokonaľovať, keďže ich prínos pre zvýšenie situačného vedomia pilota je neoceniteľný. [32]

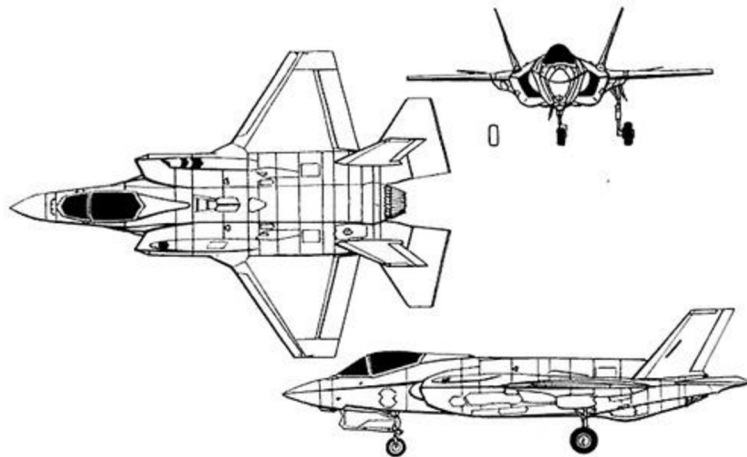
Nad pravým MFD sa nachádza záložný prístrojový systém (obr. 4.7-4), zatiaľ čo na druhej strane môžeme vidieť prístroj, ktorý ešte nebol spomenutý, a tým je obrazovka RWR (Radar warning receiver), v prípade F-16 súčasť systému AIDEWS (obr. 4.7-3). RWR je zariadenie schopné identifikovať radarové signály a podľa vlastností tohto signálu k nemu priradiť pôvodcu. Tento systém je v súčasnosti už štandardom v rámci vojenského letectva, často však už býva integrovaný v obsiahlejších avionických systémoch. Takýmto prípadom je aj systém AIDEWS v F-16, kde okrem RWR systém obsahuje aj systém elektronického rušenia. Účinnosť tohto systému je možné ešte posilniť inštaláciou kontajnera elektromagnetického boja. [35]

Na okrajoch palubnej dosky si môžeme všimnúť výstražné panely, stále pretrvávajúce aj v analógovej podobe (obr. 4.7-5).

### 4.3 Lockheed Martin F-35A Lightning II

Ako výsledok medzinárodného programu Joint Strike Fighter, F-35 určil nový štandard v rámci vojenského letectva. Ide o viacúčelový letún 5. generácie, so schopnosťou „stealth“ (technológia znižujúca radarové odrazové vlastnosti letúna). Je to prvý stealth letún, ktorý bol exportovaný za hranice Spojených štátov, keďže sa na vývoji podieľali Spojené kráľovstvo, Taliansko, Holandsko, Austrália, Kanada, Dánsko, Nórsko a pred vylúčením z programu aj Turecko [40]. V súčasnosti sa program naďalej rozširuje a medzi najnovšími zákazníkmi je aj Česká republika. [39]

Konštrukčne špecifiká a zaujímavosti na F-35, a celkovo letúnoch 5. generácie, by si zaslúžili vlastnú prácu, ak nie knihu. Centroplán F-35 integruje časť krídla a trupu do jednej súčasti, hlavne pre zjednodušenie konštrukcie a zníženie hmotnosti. Krídla a stabilátory (pohyblivé stabilizátory) majú pre zníženie radarového odrazu rovnaký uhol šípu na nábežnej aj odtokovej hrane. Z rovnakého dôvodu je na kryte kabíny zjavný uhol sklonu, ako aj ostré hrany vyskytujúce sa po celej konštrukcii. Sklonené sú aj vertikálne chvostové plochy. Pohyblivé časti, ako okraje krytu kabíny a dvierka vnútorných zbraňových komôr, majú „zúbkovité“ okraje. Väčšina týchto špecifik bola zavedená s účelom zvýšiť „stealth“ schopnosti F-35 a teda znížiť jeho radarovú odrazovú plochu. [41]



Obrázok 4.6 Exteriér F-35A [38]

Veľmi významnou prednosťou letúna F-35 je jeho elektronická a senzorová výbava. Okrem získavania informácií je v rámci architektúry systémov kladený dôraz rovnako na ich syntézu a distribúciu. AESA radar AN/APG-81, od spoločnosti Northrop-Grumman, je považovaný za jeden z najmodernejších a najschopnejších vojenských palubných radarov na svete. Poskytuje prehľad o situácii vo vzduchu aj na zemi, ako aj o možnosti elektronických útočných, obranných a podporných funkcií. Ďalšou výnimočnou súčasťou tohto letúna je jeho elektro-optický systém. Napriek tomu, že sú podobné systémy v letectve používané už dlhší čas, systém použitý v F-35 je prvým z novej generácie, ktorá prináša úplne nové schopnosti. Systém AN/AAQ-37 je tvorený sústavou elektro-optických senzorov, ktoré poskytujú kompletný sférický prehľad okolo letúna. Je schopný získať informácie o nepriateľských raketách a letúnoch na veľké vzdialenosti a poskytnúť tieto informácie pilotovi či dokonca navrhnuť použitie protiopatrení v prípade detekcie hrozby. Taktiež umožňuje nočné a denné zobrazenie, zameranie cieľov, identifikáciu priateľských jednotiek a ďalšie funkcie. [42,43]

#### 4.3.1 Kabína a ovládacie prvky

Napriek faktu, že v kabíne F-35 nájdeme takmer exkluzívne najmodernejšie technológie, ide o jedno z najjednoduchších usporiadaní kabíny, ktoré sú v tejto práci porovnávané.



Dominantnou časťou prístrojovej dosky je LAD displej (obr. 4.9-5), F-35 bol jedným z prvých letúnov, v ktorých bol použitý. Podobne ako v kabíne F-16, F-35 je ovládaný systémom „fly-by-wire“, pre ktorý je v rámci systému HOTAS použitá konfigurácia s joystickom po pravej ruke pilota (obr. 4.9-8). Medzi nohami pilota je vďaka chýbajúcej riadiacej páke priestor na centrálny piedestál, na ktorom sa nachádza záložný prístrojový systém (obr. 4.9-7), ovládače MFD a HMD (obr. 4.9-4), radarový spínač, ako aj ovládač kabínového displeja (obr. 4.9-3). Množstvo analógových spínačov bolo v kabíne absolútne minimalizované a zachované zostali len tie najzákladnejšie funkcie, ako je ovládanie podvozku (obr. 4.9-2), systém odhodenia výzbroje a nákladu (obr. 4.9-1), systém automatického vybratia vývrtky/pádu (obr. 4.9-6) a niekoľko ďalších. Je tak evidentná snaha spraviť z WAD hlavné ovládacie rozhranie.



*Obrázok 4.7 Kabína F-35 [46]*

Ďalším prvkom, ktorým je minimálne v rámci tejto práce letún F-35 jedinečný, je HUD, respektíve jeho absencia. Jeho funkcie už v plnej miere nahradzuje HMD „HMDS“, spájajúci informácie zo všetkých senzorických systémov, datalinku a ďalších zdrojov do jedného zobrazenia, poskytujúc tak vysokú úroveň situačného povedomia. Zo svedectva pilota v článku internetového magazínu Hush-kit [45] však vyplýva, že HUD by bol vítanou súčasťou aj na týchto letúnoch. Ako problém sa javí degradácia kvality zobrazenia v HMD oproti HUD, zapríčinená pravdepodobne minimalizáciou zobrazovacej technológie. Toto porovnanie však v dohľadnej budúcnosti, s najväčšou pravdepodobnosťou zostane pre verejnosť len v rovine špekulácií. [44,45]

Vo vyššie spomenutom svedectve bola riešená, hlavne kritizovaná aj ďalšia moderná funkcia, hlasové ovládanie. Ako nevýhoda je braná jeho nízka využiteľnosť, hlavne v bojových situáciách, kedy piloti musia čeliť vysokým preťaženiam. V týchto situáciách musia piloti dôsledne ovládať svoje dýchanie pri používaní techník na oddialenie účinkov preťaženia, preto akákoľvek rečová komunikácia neprichádza do úvahy. Funkcia hlasového ovládania tým v podstate stráca účel, keďže v situáciách nízkeho pracovného zaťaženia má pilot dostatok priestoru na manuálne ovládanie letúna a navyše, ako pilot ďalej udáva: „Nestretol som nikoho kto by to používal.“ [45]

V situáciách s vysokým preťažením sa ako problém ukazuje aj WAD. Keďže táto verzia MFD obsahuje len minimum analógových tlačidiel, presné stláčanie možností na dotykovom displeji môže byť v mnohých chvíľach náročné. Tento problém je ďalej umocnený skutočnosťou, že použitím digitálnych dotykových displejov sa stráca pocitová spätná väzba, čo môže v pilotovi vzbudiť neistotu vykonania zamýšľanej činnosti. [45]

Vyššie spomenuté problémy nie sú prítomné výhradne v kabíne F-35, cieľom je však na ne poukázať použitím konkrétneho príkladu. Letún F-35 bol v mediálnom prostredí dlhodobo vykreslený v negatívnom svetle, vo viacerých prípadoch však chýbajú podložené zdroje. Pri miere utajenia, ktorému tento letún podlieha, tento fakt možno nie je prekvapujúci, avšak jeho reputácia výrazne utrpela. Napriek týmto ťažkostiam je nutné podotknúť, že kabína F-35 je jednou z najmodernejších na svete. Bola vytváraná s využitím nových princípov a postupov, pri čom boli použité unikátne technológie. Tiež ide o letún, prispôbený pre úplne iný štýl boja, než jeho predchodcovia. História častokrát ukazuje, že pri letúnoch, tak ambiciózných ako je F-35, sa môžu vyskytnúť vývojové smery, ktoré sa prejavujú ako neefektívne. Takáto miera expertízy je však vysoko nad rámec tejto práce.

## **5 Návrhy optimalizácie ovládacích prvkov v kabíne L-39NG**

Všetky letúny v kategórii cvičných, ktoré sú v tejto práci porovnávané, napriek rozdielom zdieľajú ten istý účel. Zastávajú premostujúcu úlohu medzi základným leteckým výcvikom a výcvikom na „fast-jet“ letúnoch. Z tejto úlohy vyplýva, aké kľúčové sú cvičné letúny pre efektívny výcvikový proces. Hlavným cieľom leteckého výcviku pilotov vzdušných síl je za čo najkratší čas a s čo najnižšími nákladmi dosiahnuť požadovanú kvalifikáciu svojich pilotov. Tieto parametre môžu byť vo veľkej miere ovplyvnené vlastnosťami a možnosťami, ktoré ponúka daný cvičný letún. Účelným výberom vybavenia, ovládacích prvkov, ich rozloženia v kabíne a operačných postupov je možné dosiahnuť efektívnejšie využitie letového času pri výcviku. Týmto spôsobom je možné znížiť letový čas potrebný na prechod a výcvik na „fast-jet“.

Za predpokladu, že by bolo cvičné lietadlo na to dostatočne prispôsobené, bolo by možné pilota učiť návyky, postupy, psychomotorické úkony a tzv. „svalovú pamäť“, ktoré by vedel priamo zužitkovať pri pilotovaní letúna, na ktorý bude ďalej cvičený. Podobný postup by tak umožnil dramatické zníženie nákladov, ako aj poskytol pilotovi možnosti upevniť si už získané schopnosti a ďalej na nich budovať, namiesto toho aby sa musel učiť nové pri prechode na nový letún. Faktor nového letúna samozrejme nikdy nepôjde úplne eliminovať, je ho však možné efektívne redukovať.

S týmito princípmi na pamäti, pokračujeme so sumarizáciou porovnaní, ktoré sme riešili v predchádzajúcich kapitolách, ako aj prehľadom praktických skúseností pilotov, ktorí prispeli svojimi poznatkami do tejto práce s cieľom nájdenia možných optimalizácií ovládacích prvkov v kabíne letúna L-39NG. Návrhy týchto optimalizácií sú ďalej riešené v záverečnej časti tejto kapitoly.

### **5.1 Závery vyvedené z porovnania konkurenčných strojov**

V kontexte konkurenčných cvičných letúnov boli porovnávané letúny s rôznymi prístupmi k plneniu vyššie spomínanej funkcie. Pilatus PC-21 a Leonardo M-345 k tejto úlohe pristupujú s implementáciou univerzálnejšieho rozloženia kabíny. S usporiadaním troch MFD vedľa seba a ďalších elektronických systémov sa snažia všeobecnejšie priblížiť kabíny súčasných bojových letúnov. V prípade Pilatusu bola spomenutá možnosť personalizácie kabíny pomocou softvérového prispôsobenia symboliky a zobrazenia elektronických systémov.

Iným spôsobom je riešená kabína BAE Hawku T2, kde sú použité systémy a ich usporiadanie špecificky navrhnuté pre čo najbližšie priblíženie kabíny Eurofighteru Typhoon. Tento spôsob, napriek úspechu v tomto konkrétnom prípade, by pravdepodobne nebol v takomto rozsahu realizovateľný pre L-39NG. Ide o veľmi špecifické okolnosti, ktoré túto spoluprácu umožnili. S prihliadnutím na množstvo rôznych typov bojových letúnov, ktoré slúžia už len v rámci krajín NATO, by takáto špecifická úprava pravdepodobne nepriniesla želaný výsledok. Výnimkou by potenciálne mohol byť letún F-35, ktorému sa usporiadaním kabíny v súčasnosti nepodobá takmer žiaden výcvikový letún, s výnimkou niekoľkých typov, ktoré sú však výkonovo a cenovo v inej kategórii ako L-39NG (napríklad Boeing-Saab T-7 Red Hawk).

Po zvážení týchto skutočností by pre L-39NG mohol byť dobrý spôsob optimalizácie kompromis medzi spomínanými prístupmi. V prvom rade upustiť od špecifickosti rozloženia kabíny podľa konkrétneho letúna ako v prípade Hawku. Na druhú stranu by bolo dobré zamerať sa na konkrétne ovládacie prvky a postupy, ktoré v najväčšej miere prispievajú k zefektívneniu výcvikového procesu, navedú a podporia pilota vo vytváraní správnych mentálnych modelov a návykov.

## 5.2 Závěry vyvedené z porovnání vybraných stíhacích letúnov

Jasný trend, ktorý vyplýva z porovnania vybraných stíhacích letúnov, je stále narastajúca digitalizácia ovládacích prvkov v ich kabínach. Jednotlivé funkcie sú spájané do väčších celkov, väčšinou ako súčasť elektronických systémov. Pilotovi je k dispozícii čoraz väčšie množstvo letových a taktických informácií, s prihliadnutím na to, aby boli čo najprístupnejšie. Systémy sú navrhované s cieľom poskytnutia čo najväčšej miery situačného povedomia, tie najmodernejšie sú schopné pilotovi poskytnúť rady či dokonca navrhnúť postup vhodný pre danú situáciu.

Dlhodobou sa integrujú systémy HMD, väčšinou paralelne s HUD, umožňujúce zobrazenie letových a taktických informácií vo výhľadovej línii pilota. O niečo novšie je zavedenie displejov WAD, ktoré umožňujú prispôbenie a personalizáciu usporiadania jednotlivých častí obrazovky pre zobrazenie informácií viacerých systémov, s možnosťou úpravy ich pokrytia obrazovky. Ovládacie prvky v rámci systému HOTAS sa naďalej rozširujú, priamoúmerne množstvu funkcií, ktoré prináša integrácia nových systémov a možností.

Nie je jednoduché prispôbiť cvičný letún tak, aby umožnil hladký prechod na bojový letún. Technológie použité v týchto strojoch často podliehajú utajeniu, preto väčšinou nie je možné simulovať presné postupy a úkony typické pre daný letún. K dispozícii sú však aj nástroje, ktoré takúto simuláciu uľahčujú. Príkladom sú integrované výcvikové systémy. Nadväzujúc na ich predstavenie v predchádzajúcich kapitolách, majú veľký potenciál pre vytvorenie rozhrania, ktoré by blízko približovalo podmienky v kabíne želaného bojového letúna. Prispôbením systému HOTAS, displejovej symboliky zobrazovacích systémov a ďalších aspektov, by bolo možné dosiahnuť zámery spomínané na začiatku tejto kapitoly.

## 5.3 Rozhovory s pilotmi

Pre získanie praktického náhľadu do problematiky boli, okrem konzultácií s Aero Vodochody, pre účely tejto práce vykonané kvalitatívne rozhovory s vojenskými pilotmi. Respondenti boli traja v rôznych fázach leteckej kariéry, vrátane bývalého inštruktora a pilota vo výcviku. Kritériá na respondentov boli pomerne vysoké už len pre požadovanú kvalifikáciu, zároveň v niekoľkých prípadoch oslovené strany odmietli účasť z rôznych dôvodov. Jedným z týchto dôvodov je utajenie, respektíve zachovanie súkromia, pre ktoré respondenti nie sú menovaní. Rozhovory boli vedené s prihliadnutím na skúsenosti daného respondenta, otázky teda neboli rovnaké pre všetkých a boli personalizované. Vo všetkých prípadoch sa však týkali výcvikového procesu, ergonómie letúnov a ovládacích prvkov, s ktorými majú skúsenosti, ako aj postrehy a pripomienky, ktoré vyplývajú z ich praxe.

Napriek relatívnej nejednotnosti otázok, bolo zaujímavou súčasťou týchto rozhovorov zistenie, že vo všetkých prípadoch sa dospelo k podobným záverom. Tento fakt je o to podstatnejší, vzhľadom na to, že sa tieto závery veľmi podobajú tým, ktoré sú riešené v predchádzajúcich kapitolách.

Spoločnou témou všetkých rozhovorov bolo vytváranie užitočných návykov a prostriedky, ktoré tento proces umožňujú. Veľakrát skloňovaný bol integrovaný výcvikový systém. Respondenti vo všetkých prípadoch spomenuli aspoň jeden systém alebo funkciu, ktorého použitie by privítali už v skoršej fáze výcviku, aspoň prostredníctvom integrovaného výcvikového systému. Spomenuté boli radarový systém, simulácia „beyond-visual-range“ boja (boj na vzdialenosť mimo vizuálneho dosahu), ako aj použitie „targeting podu“ (zameriavacieho kontajnera). Tieto funkcie boli popisované v kontexte systémov, ktoré piloti považovali za dostatočne dôležité alebo komplexné na to, aby bolo možné cvičiť postupy s nimi spojené už v skoršej fáze výcviku.

Zdôrazňované bolo efektívne využitie systému HOTAS. Hovorilo sa o zvolení správneho rozloženia, výbere užitočných funkcií v kontexte cvičného letúna a tiež o ideálnom prípade, kedy by bolo možné systém HOTAS prispôbiť podľa letúna, na ktorý má byť pilot cvičený.

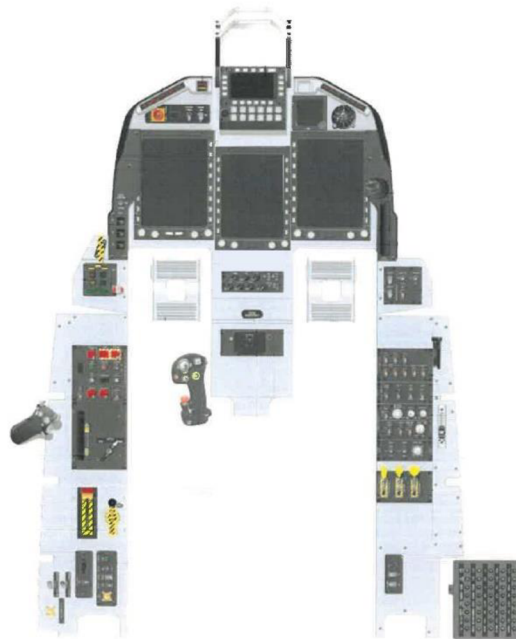
Zaujímavý postreh spojený s týmto systémom, predstavuje zváženie umiestnenia funkcií na riadiacej páke a na ovládači ťahu motora, s ohľadom na situácie, v ktorých sa dá predpokladať, že pilot potrebuje naraz ovládať niekoľko funkcií naraz. V takomto prípade je dôležité dbať na to, aby nenastala situácia, kedy je pilot nútený jednou rukou ovládať neprimerané množstvo funkcií. Jeden z respondentov tiež poukázal na faktor svalovej pamäte, s ktorým treba v rámci tohto ovládania počítať, a ktorý do veľkej miery zaváži pri prechode na nový letún.

Diskusia sa ďalej držala ovládacích prvkov v rámci porovnania dotykového a analógového ovládania v kontexte súprav MFD. Konsenzus bol nájdený v dostatočnosti analógového ovládania v spojení s ovládaním pomocou HOTAS. Treba spomenúť, že respondenti síce s dotykovým ovládaním nemajú skúsenosti, napriek tomu však argumentovali nevýhodami, ktoré so sebou toto ovládanie nesie v situáciách veľkej záťaže.

V neposlednom rade respondenti vyzdvihli skutočnosť, že súčasné bojové letúny do veľkej miery uľahčujú letovú stránku ich ovládania, pomocou rady stabilizačných systémov a autopilota, umožňujúc tak prenos sústredenia pilota na ďalšie úkony. Z tohto dôvodu by bolo dobré, aby si pilot mohol už vo fáze výcviku na cvičnom letúnovi vytvoriť dôveru voči jeho ovládaniu prostredníctvom podobných systémov a nevytvárať návyky, od ktorých by si musel pilot v neskoršej fáze výcviku odvykať. To môže spôsobiť buď dlhší čas potrebný na zvyknutie si na nové ovládanie, a tým zvyšovaním nákladov na výcvik, v horšom prípade v situácii väčšej záťaže spôsobiť použitie nesprávneho postupu alebo ovládača pri konaní z intuície.

#### **5.4 Možnosti optimalizácie**

So zámerom sumarizácie sú v tejto podkapitole zhrnuté optimalizácie riešené v tejto práci.



*Obrázok 5.1 Kabína L-39NG v konfigurácii s tromi MFD*

V prvom rade sa odporúča výmena avionického systému, v usporiadaní troch MFD alebo WAD, ktoré sú už štandardné v súčasných cvičných a bojových letúnoch. Použitím jedného z týchto typov displejového usporiadania umožní jednak zvýšiť množstvo informácií poskytovaných pilotovi, ako aj lepšie priblíženie zobrazenia a umiestnenia týchto informácií, s cieľom vytvoriť u pilota vhodné návyky pri hľadaní zobrazenia konkrétneho systému na rovnakom mieste a v rovnakej podobe. Pre možnosti ďalšieho prispôbenia je dôležité udržať funkcionality „open architecture“. Dôvodom sú možnosti personalizácie zobrazenia a displejovej symboliky pre potreby zákazníka a zjednodušenie aklimatizácie pilota v kabíne

letúna, na ktorom bude pokračovať vo výcviku. Tiež je účelné použitie integrovaného výcvikového systému v rámci avionického vybavenia, s čo možno najširšími možnosťami simulácie (radar, zbraňové systémy, virtuálne ciele, datalink a ďalšie). Možnosť použitia týchto systémov počas výcviku na cvičnom letúnovi môže vo veľkej miere znížiť čas potrebný na výcvik daného systému na bojovom letúnovi. Operačné náklady týchto letúnov sú o veľa vyššie v porovnaní s tými cvičnými, výcvikový systém má teda značný potenciál zníženia výcvikových nákladov. Túto tendenciu potvrdzuje prítomnosť a rozsah použitia tohto systému v súčasných cvičných letúnoch, ako aj svedectvá pilotov, ktorí majú s týmito systémami skúsenosť.

Ak by bol zvolený systém WAD, ponúka sa ďalšia možnosť optimalizácie, aj keď pomerne radikálna. Išlo by o výmenu systému HUD za HMD. V prvom rade by to mohol byť benefit špecificky pre kabínu L-39NG, už v kapitole 2 bolo riešené, ako ovládacia jednotka systému HUD z časti obmedzuje výhľad na zvyšok prístrojovej dosky, na ktorej sa aj sama nachádza. Okrem výhľadových a priestorových výhod, by mohlo ísť o priblíženie kabíny letúna F-35. Otázkou by zostávala možnosť integrácie HMD, ako aj nájdenie vhodného dodávateľa a systému. Výrobca systému HMDS z letúna F-35, Collins Aerospace, prezentuje aj systémy vhodné pre výcvik a simuláciu. Systém SimEye SX50T II je prezentovaný ako výcvikový systém, použiteľný v simulátoroch a aj v rámci letového výcviku [48]. Jedným z cvičných letúnov, ktorý systém HMD využíva je Leonardo M-346, ktorý v tejto práci z dôvodu výkonovej odlišnosti nebol v práci zahrnutý, stále však predstavuje príklad úspešnej integrácie systému HMD do cvičného letúna [49]. HMD by bolo samozrejme možné použiť aj súbežne s HUD, ak by to bolo preferované. Ide o systém, ktorý predstavuje pravdepodobnú budúcnosť zobrazovacích technológií v kabínach bojových letúnov, so stále napredujúcim vývojom a rozširujúcim sa využitím. V kategórii letúnov ako je L-39NG zatiaľ táto technológia nevidela veľké využitie. Keďže ale ide o systém, ktorého rozšírenie bude vo vojenskej sfére iba narastať, jeho integrácia v L-39NG by mohla byť zaujímavá pre trh aj do budúcnosti. Treba tiež spomenúť fakt, že napríklad letún F-35 už používa výhradne systém HMD, bez HUD, preto bude aj pre pilotov jednoduchšie cvičiť priamo s týmto systémom, namiesto systému HUD, ktorý by v letúnovi, na ktorom budú pokračovať ani nemusel byť inštalovaný.



Obrázok 5.2 HMD SimEye SX50T II od spoločnosti Collins Aerospace [48]

Ďalej je dôležité spomenúť systém HOTAS. Jeho dôležitosť bola v tejto práci viackrát podčiarknutá. Tento systém sa v kabínach súčasných bojových letúnov vyskytuje takmer vo všetkých prípadoch. Vzhľadom na snahu umiestnenia čo najväčšieho množstva dôležitých funkcií do tohto systému, systém samotný naberá na dôležitosti. Pri povahe a množstve funkcií v ňom obsiahnutých môžeme tento systém považovať za aktuálne najdôležitejšiu sústavu ovládacích prvkov v rámci kabíny. V súčasnosti sa na nich štandardne nachádza ovládanie zobrazovacích rozhraní, zbraňových a sensorových systémov, letových a motorových systémov, komunikačných prostriedkov, obranných systémov, ako aj systémov elektronického boja a ďalších.

Napriek ich rozšíreniu sú však vo vojenskej sfére tieto systémy často integrované s iným umiestnením jednotlivých funkcií, často s rozdielmi od letúna k letúnu. V rovine cvičných letúnov by preto riešením tohto problému mohlo byť smerovanie k modularite systému HOTAS. Získali by sme možnosť prispôsobenia na usporiadanie, ktoré by zaistilo plynulý prechod z cvičného letúna na konkrétny bojový letún. Potreba optimalizácií v tomto smere pramení zo skutočnosti, že pri množstve času, ktoré pilot strávi používaním tohto systému si vytvára návyky a svalovú pamäť hodné stoviek hodín intenzívneho výcviku, ktoré by mohli byť ďalej zužitkované, miesto toho aby bolo potrebné ich nahradiť pri prechode na nový letún. Ako už bolo spomínané, zmeny v návykoch môžu spôsobiť predĺženie doby preškolenia na nový letún a inherentné predraženie výcviku, a tiež zvýšiť riziko vzniku chyby pilota v kritických situáciách. Tieto tvrdenia boli potvrdené v rozhovoroch vykonaných pre účely tejto práce, a vychádzajú aj z inžinierskych princípov riešených v skorších kapitolách. V tomto duchu sa odporúča poskytnúť možnosti prispôsobenia systému HOTAS pre potreby zákazníka s dôrazom na usporiadanie jednotlivých funkcií v rámci systému. Alternatívou môže byť prieskum trhu s cieľom štandardizovania rozloženia jednotlivých funkcií na riadiacej páke a ovládači ťahu, podľa najčastejšieho umiestnenia konkrétnych funkcií vo vybraných letúnoch.



*Obrázok 5.3 Kabína L-39NG s LAD od spoločnosti Collins Aerospace [50] a systémom HOTAS v usporiadaní F-35 od Wraith Systems [51]*

## ZÁVER

Letún Aero L-39NG pokračuje vo vývoji a vylepšovaní pôvodnej platformy L-39, prenášajúc ho do súčasného leteckého prostredia. Táto snaha je nevyhnutná pre udržanie relevancie a konkurencieschopnosti v porovnaní s ďalšími letúnmi tejto kategórie. Verzia L-39NG prináša zásadné zmeny, ako napríklad remotorizáciu či úpravy konštrukcie krídla. Najzaujímavejšie zmeny, na ktoré sa táto práca zameriava, sa však nachádzajú v kabíne tohto letúna. V porovnaní s letúnom Aero L-39, ide o významný skok vpred, zvýšením miery digitalizácie a použitím moderných technológií. Na toto úsilie nadväzuje aj táto práca.

Kabína cvičného letúna je pravdepodobne jeho najdôležitejšou súčasťou. Ide o priestor, na ktorom je celá funkcia tohto letúna založená. Jeho efektívne spracovanie môže znamenať rozdiel medzi úspešným a neúspešným dizajnom cvičného letúna. Správnymi rozhodnutiami je možné dramaticky znížiť čas potrebný na výcvik a tým aj jeho cenu, nielen v rámci cvičného letúna, ale aj letúnov, na ktorých budú piloti pokračovať.

Cieľom tejto práce bolo identifikovať ovládacie prvky vhodné pre optimalizáciu v rámci kabíny letúna L-39NG. Okrem rešerše v oblasti kabín súčasných cvičných, respektíve bojových letúnov, boli za týmto cieľom použité relevantné inžinierske princípy a praktické skúsenosti zainteresovaných respondentov. Po zvážení získaných dát sme vytvorili odporúčania vylepšenia, týkajúce sa jednak hardvérového aj softvérového vybavenia kabíny.

Porovnania v rámci rešerše priniesli rôzne pohľady a filozofie aplikované v moderných kabínach. S prihliadnutím na ich usporiadanie sú evidentné súčasné štandardy a dá sa pomerne dobre predpokladať ich ďalšie smerovanie. Riešené boli všeobecné umiestnenia jednotlivých prístrojov v kabínach, ale aj usporiadania špecifických systémov. Medzi ne patrili napríklad zobrazovacie systémy, ich rozloženie, ovládanie a funkcie alebo riadiace systémy, ako systém HOTAS. Tieto systémy sme identifikovali ako primárne oblasti, v ktorých by bolo účelné hľadať optimalizácie. Hlavným dôvodom je ich dôležitosť a zásadnosť pre efektivitu rozhrania pilot-letún, ako aj potenciál pre zefektívnenie výcvikového procesu.

Kabíny letúnov boli skúmané s ohľadom na ich ergonómiu, prispôsobenie pre potreby pilota, ako aj efektivitu ich prevedenia pre daný účel. Pri riešení tejto problematiky treba mať na pamäti, že sa pri navrhovaní kabín vždy jedná o kompromis medzi viacerými zámermi, ktoré často pôsobia protichodne. Aj jednoznačne prínosné optimalizácie dizajnu letúna sa častokrát môžu a nemusia ukázať ako výhodné, či už z dôvodov finančnej náročnosti alebo nevýhodnosti, prípadne nezáujmu zo strany zákazníkov. Dôležité je mať na pamäti, že aj ten najlepšie vybavený kokpit nemá význam bez dostatočného zohľadnenia princípov human factors a zváženia jeho operačného fungovania s pilotom.

V neposlednom rade treba zdôrazniť úlohu cvičného letúna, z ktorej plynie aj filozofia jeho kabíny. „Jet trainer“, ktorým L-39NG jednoznačne je, spĺňa premostujúcu úlohu medzi základným leteckým výcvikom a prechodom na bojový letún. Z tejto úlohy pramení potreba z jednej strany prípravy pilota na kabínu bojového letúna, zo strany druhej dostatočnej prístupnosti pre pilota so základným výcvikom. Zároveň by malo byť zvážené vybavenie, s ktorým piloti následne reálne môžu prísť do styku v ďalších fázach výcviku.

Táto práca na význam efektívneho spracovania kabín v cvičných letúnoch poukazuje vytvorením návrhov optimalizácií, založených na princípoch riešených v tejto práci, bližšie špecifikovanie praktických riešení týchto návrhov by mohlo byť potenciálne riešené v nadväzujúcej diplomovej práci.



## ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] EMACC Guidebook. European Military Airworthiness Certification Criteria (EMACC) Guidebook. European Defence Agency, 2014-01-29.
- [2] EMACC Handbook. European Military Airworthiness Certification Criteria (EMACC) Handbook. European Defence Agency, 2018-02-01.
- [3] ALFREDSON, Jens, HOLMBERG, Johan, ANDERSSON, Rikard a WIKFORSS, Maria. *Applied Cognitive Ergonomics Design Principles for Fighter Aircraft*. In: HARRIS, D. (ed.). *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics*. HCII 2011. LNAI 6781. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011, s. 473-483. [cit. 2024-02-16]. Dostupné na: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-06086-1>.
- [4] WICKENS, C.D., GORDON, S.E., LIU, Y., LEE, J. *An Introduction to Human Factors Engineering*. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River (2004). ISBN 0-321-01229-1.
- [5] KENNEDY, Kenneth W. *International Anthropometric Variability and Its Effects on Aircraft Cockpit Design*. Online. Air Force Aerospace Medical Research Lab, Wright-Patterson AFB, Ohio, 1976-07-01. ADA027801. [cit. 2024-02-16]. Dostupné na: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA027801.pdf>.
- [6] AERO VODOCHODY AEROSPACE a.s. *Letoun L-39NG* [online], © 2023. [cit. 2024-02-16]. Dostupné na: <https://www.aero.cz/l-39ng/>.
- [7] AERO VODOCHODY AEROSPACE a.s. *L-39NG vs L-39 Comparison* [online], © 2015. [cit. 2024-02-16]. Archivované na: <https://web.archive.org/web/20151120022639/http://www.l-39ng.cz/program-l-39-ng/l-39ng-vs-l-39-comparison/>.
- [8] GENESYS AEROSYSTEMS. *Our platforms: Aero L-39 Albatros* [online], © 1978-2014. [cit. 2024-02-16]. Dostupné na: <https://genesys-aerosystems.com/platforms/>.
- [9] PILATUS AIRCRAFT LTD. *PC-21 Factsheet* [online] ©. [cit. 2024-02-16]. Dostupné na: <https://www.pilatus-aircraft.com/en/fly/pc-21>.
- [10] PILATUS AIRCRAFT LTD. *PC-21 Brochure* [online] ©. [cit. 2024-02-16]. Dostupné na: <https://www.pilatus-aircraft.com/en/fly/pc-21>.
- [11] ATTARIWALA, J. *Pilatus PC-21: Fast jet training in the shape of a turboprop*. In: *CDR Magazine* [online]. **26**(2); 82-85, 126. [cit. 2024-2-16]. Dostupné na: <https://www.pilatus-aircraft.com/data/news/CDR-Magazine-Article-PC-21-Pilatus-Aircraft-Ltd.pdf>.
- [12] AERO VODOCHODY AEROSPACE a.s. 2024-02-23. *Re: Dotaz k avionike L-39NG*. Email. [osobná komunikácia].

- [13] BAE Systems. *Air International – Hawk Supplement* [online] © 2023. [cit. 2024-03-05]. Dostupné na:  
[https://www.baesystems.com/sites/Satellite?c=BAEProduct\\_C&childpagename=Global%2FBAELayout&cid=1434555371718&d=Touch&packedargs=d%3DDesktop&pagename=GlobalWrapper](https://www.baesystems.com/sites/Satellite?c=BAEProduct_C&childpagename=Global%2FBAELayout&cid=1434555371718&d=Touch&packedargs=d%3DDesktop&pagename=GlobalWrapper).
- [14] HOYLE, Craig. *RAF starts exploring Hawk T2 replacement options to support GCAP fleet*. Online. In: FlightGlobal, 23.2.2024. [cit. 2024-03-05]. Dostupné na:  
[https://www.flightglobal.com/defence/raf-starts-exploring-hawk-t2-replacement-options-to-support-gcap-fleet/157106.article?utm\\_source=rss&utm\\_medium=Sendible&utm\\_campaign=RSS](https://www.flightglobal.com/defence/raf-starts-exploring-hawk-t2-replacement-options-to-support-gcap-fleet/157106.article?utm_source=rss&utm_medium=Sendible&utm_campaign=RSS).
- [15] BAE Systems. *Hawk cockpit infographic* [online] © 2023. [cit. 2024-03-05]. Dostupné na:  
[https://www.baesystems.com/sites/Satellite?c=BAEProduct\\_C&childpagename=Global%2FBAELayout&cid=1434555371718&d=Touch&packedargs=d%3DDesktop&pagename=GlobalWrapper](https://www.baesystems.com/sites/Satellite?c=BAEProduct_C&childpagename=Global%2FBAELayout&cid=1434555371718&d=Touch&packedargs=d%3DDesktop&pagename=GlobalWrapper).
- [16] MITCHELL, Harry F. *The HAWK Story*. Online. The Journal of Aeronautical History. London(United Kingdom): Royal Aeronautical Society, 2013, Paper No. 2013/01. [cit. 2024-03-05]. Dostupné na: <https://www.aerosociety.com/publications/jah-the-hawk-story/>.
- [17] Armed Forces, Defence Suppliers Directory. *RAF Aircraft: HAWK T1/T1A - HAWK T2 (128)*. Online. © 2024. [cit. 2024-03-05]. Dostupné na:  
<http://www.armedforces.co.uk/raf/listings/10027.html>.
- [18] LEONARDO S.p.A. *Aermacchi M-345 Brochure* [online] © 2022. [cit. 2024-03-08]. Dostupné na: <https://aircraft.leonardo.com/en/products/m-345>.
- [19] LEONARDO S.p.A. *M-345 Datasheet* [online] © 2022. [cit. 2024-03-08]. Dostupné na: <https://aircraft.leonardo.com/en/products/m-345>.
- [20] Airforce Technology. *M-345 Basic-Advanced Jet Trainer*. Online. © Verdict Media Limited, 2024. 29.7.2019. [cit. 2024-03-08]. Dostupné na: <https://www.airforce-technology.com/projects/m-345-basic-advanced-jet-trainer/>.
- [21] LEONARDO. *M-345 The next generation trainer*. Online. In: youtube.com, 18.1.2021. [cit. 2024-03-08]. Dostupné na:  
[https://www.youtube.com/watch?v=0TCvUmkBKbc&ab\\_channel=Leonardo](https://www.youtube.com/watch?v=0TCvUmkBKbc&ab_channel=Leonardo).
- [22] The Shephard News Team. *Leonardo ups the ante on M345 trainer jet pitch to Slovakia*. Online. In: Shephard. 6.9.2023. [cit. 2024-03-08]. Dostupné na:  
<https://www.shephardmedia.com/news/training-simulation/leonardo-ups-ante-on-m345-trainer-jet-pitch-to-slovakia/>.
- [23] LEONARDO S.p.A. *M-345*. Online. © 2022. [cit. 2024-03-09]. Dostupné na:  
<https://aircraft.leonardo.com/es/products/m-345>.
- [24] AERO Vodochody AEROSPACE a.s. 2024-02-19. *Re: Bakalárska práca*. Email. [osobná komunikácia].

- [25] AERO Vodochody AEROSPACE a.s. 2024-01-18. *Re: Informácie k bakalárskej práci*. Email. [osobná komunikácia].
- [26] The Airfix Workbench Team. *Latest Hawk an international success*. Online. © Hornby Hobbies Ltd., 2021. [cit. 2024-03-09]. Dostupné na: <https://uk.airfix.com/community/blog-and-news/workbench/latest-hawk-international-success>.
- [27] LINDELL, H. *GRIPEN, PROGRAM OVERVIEW AND FUTURE DEVELOPMENT*. 26th Congress of International Council of the Aeronautical Sciences including the 8th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Conference 14 - 19 September 2008, Anchorage, Alaska, USA. ICAS 2008-1.7.5. [cit. 2024-03-16]. Dostupné na: [https://www.icas.org/ICAS\\_ARCHIVE/ICAS2008/ORAL\\_PAPERS.HTM#s1\\_2](https://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2008/ORAL_PAPERS.HTM#s1_2).
- [28] Nonothai. *Gripen C/D Multirole Fighter Aircraft*. Online. In: Thai Military and Asian Region. 27.4.2017. [cit. 2024-03-19]. Dostupné na: <https://thaimilitaryandasianregion.wordpress.com/2017/04/27/gripen-multirole-fighter-aircraft/>.
- [29] HOTTMAR, Aleš. *Saab JAS-39E – nástupce osvědčených strojů Gripen C/D ve Vzdušných silách Armády České republiky?*. Online. CZECH AIR FORCE. © 2024. 10.3.2019. [cit. 2024-03-19]. Dostupné na: <https://czechairforce.com/news/saab-jas-39e-nastupce-osvedcenyh-stroju-gripen-c-d-ve-vzdusnych-silach-armady-ceske-republiky/>.
- [30] Saab. *Gripen E - Human-Machine Collaboration*. Online. In: youtube.com, 7.2.2023. [cit. 2024-03-19]. Dostupné na: [https://www.youtube.com/watch?v=pcVp4bM9ruA&ab\\_channel=Saab](https://www.youtube.com/watch?v=pcVp4bM9ruA&ab_channel=Saab).
- [31] SKYbrary Aviation Safety. *Canard*. Online. SKYbrary. © 2021-2024. [cit. 2024-03-19]. Dostupné na: <https://skybrary.aero/articles/canard>.
- [32] HOTTMAR, Aleš. *F-16C/D Block 70/72 – nesmrtelný Viper chytá druhý dech*. Online. In: CZECH AIR FORCE. © 2024. 26.12.2019. [cit. 2024-03-24]. Dostupné na: <https://czechairforce.com/news/f-16c-d-block-70-72-nesmrtelny-viper-chyta-druhy-dech/>.
- [33] Lockheed Martin Corporation. *F-16 Fighting Falcon*. Online. © 2024. [cit. 2024-03-24]. Dostupné na: <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/f-16.html>.
- [34] United States Air Force. *F-16 Fighting Falcon*. Online. [cit. 2024-03-24]. Dostupné na: <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104505/f-16-fighting-falcon/>.
- [35] Harris Corporation. *AN/ALQ-211 AIDEWS*. Online. © 2016. [cit. 2024-03-24]. Dostupné na: <https://lf5422.com/wp-content/uploads/2016/12/alq-211-advanced-integrated-defensive-electronic-warfare-suite-datasheet-2.pdf>.

- [36] *General Dynamics F-16 Fighting Falcon (2024)*. Online. In: Wikipedia. [cit. 2024-03-24]. Dostupné na: [https://en.wikipedia.org/wiki/General\\_Dynamics\\_F-16\\_Fighting\\_Falcon](https://en.wikipedia.org/wiki/General_Dynamics_F-16_Fighting_Falcon).
- [37] HOLSTEIN, Wiliam K., CHAPANIS, Alphonse. *human-factors engineering (2022)*. Online. In: Encyclopædia Britannica, Inc. © 2024. [cit. 2024-03-27]. Dostupné na: <https://www.britannica.com/topic/human-factors-engineering/Applications-of-human-factors-engineering>.
- [38] Dr Dan Saranga. *Lockheed Martin F-35A Lightning II*. Online. In: the-blueprints.com. [cit. 2024-04-15]. Dostupné na: [https://www.the-blueprints.com/blueprints/modernplanes/lockheed/75885/view/lockheed\\_martin\\_f\\_35a\\_lightning\\_ii/](https://www.the-blueprints.com/blueprints/modernplanes/lockheed/75885/view/lockheed_martin_f_35a_lightning_ii/).
- [39] F-35 Lightning II Joint Program Office. *ABOUT US*. Online. In: jsf.mil. [cit. 2024-04-15]. Dostupné na: <https://www.jsf.mil/aboutus>.
- [40] MEHTA, Aaron. *Turkey officially kicked out of F-35 program, costing US half a billion dollars*. Online. In: Defense News. © 2024. 17.7.2019. [cit. 2024-04-15]. Dostupné na: <https://www.defensenews.com/air/2019/07/17/turkey-officially-kicked-out-of-f-35-program/>.
- [41] Airforce Technology. *F-35 Lightning II Joint Strike Fighter (JSF)*. Online. © Verdict Media Limited, 2024. 11.12.2020. [cit. 2024-04-15]. Dostupné na: <https://www.airforce-technology.com/projects/jsf/?cf-view&cf-closed>.
- [42] United States Air Force. *F-35A Lightning II*. Online. [cit. 2024-04-15]. Dostupné na: <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/478441/f-35a-lightning-ii/>.
- [43] Northrop Grumman. *AN/APG-81 Active Electronically Scanned Array (AESA) Fire Control Radar*. Online. © 2024. [cit. 2024-04-15]. Dostupné na: <https://www.northropgrumman.com/what-we-do/air/an-apg-81-active-electronically-scanned-array-aesa-fire-control-radar>.
- [44] Collins Aerospace. *F-35 Gen III Helmet Mounted Display System (HMDS)*. Online. © 2024. [cit. 2024-04-15]. Dostupné na: <https://www.collinsaerospace.com/what-we-do/industries/military-and-defense/displays-and-controls/airborne/helmet-mounted-displays/f-35-gen-iii-helmet-mounted-display-system>.
- [45] Hush-Kit. *What is good and bad about the F-35 cockpit: A 'Panther' pilot's guide to modern cockpits*. Online. 21.1.2021. [cit. 2024-04-15]. Dostupné na: <https://hushkit.net/2021/01/21/what-is-good-and-bad-about-the-f-35-cockpit-a-panthers-pilots-guide-to-modern-cockpits/>.
- [46] CENTENO, Gabriel. *Fifth Generation Fighters: The Present and Future of the World's Most Modern*. Online. In: Aeroflap. © 2012-2024. 16.2.2021. [cit. 2024-04-16]. Dostupné na: <https://en.aeroflap.com.br/fifth-generation-fighter-jets-the-present-and-future-of-the-most-modern-in-the-world/>.
- [47] Royal Air Force – Regular & Reserve. *Pilot*. Online. [cit. 2024-04-21]. Dostupné na: <https://recruitment.raf.mod.uk/roles/roles-finder/aircrew/pilot>.

- [48] Collins Aerospace. *Helmet-mounted Display System for fast-jet simulation training brochure*. Online. © 2024. [cit. 2024-05-12]. Dostupné na: <https://www.collinsaerospace.com/what-we-do/industries/military-and-defense/displays-and-controls/simulation-and-training-helmet-mounted-displays>.
- [49] LEONARDO S.p.A. *M-346*. Online. © 2022. [cit. 2024-05-12]. Dostupné na: <https://aircraft.leonardo.com/es/products/m-346>.
- [50] Collins Aerospace. *Head Down Displays (HDD)*. Online. © 2024. [cit. 2024-05-12]. Dostupné na: <https://www.collinsaerospace.com/what-we-do/industries/military-and-defense/displays-and-controls/airborne/head-down-displays>.
- [51] Wraith Systems, LLC. *F-35 LIGHTNING II - X GRIP+ INCEPTORS*. Online. [cit. 2024-05-20]. Dostupné na: <https://wraithsystems.com/products/f35/>.

## ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK

<b>Skratka</b>	<b>Význam</b>	<b>Preklad</b>
<i>AESA</i>	Active electronically scanned array	Aktívne elektronicky skenované pole
<i>AEW&amp;C</i>	Airborne early warning and control	Letecký systém včasného varovania a riadenia
<i>CDU</i>	Control display unit	Ovládacia displejová jednotka
<i>DEP</i>	Design eye position	Dizajnová poloha očí
<i>EDA</i>	European Defence Agency	Európska obranná agentúra
<i>EFIS</i>	Electronic flight instrument system	Systém elektronických letových prístrojov
<i>EMACC</i>	European Military Airworthiness Certification Criteria	Európske vojenské certifikačné kritériá letovej spôsobilosti
<i>FADEC</i>	Full Authority Digital Engine Control	Systém digitálneho ovládania motora s plnou autoritou
<i>FMC</i>	Flight management computer	Riadiaci počítač
<i>FMS</i>	Flight management system	Systém riadenia letu
<i>HOTAS</i>	Hands on throttle-and-stick	Systém rúk na páke a ovládači ťahu
<i>HUD</i>	Head-up display	Priehľadový displej
<i>IHMD</i>	Integrated helmet-mounted display	Integrovaný helmový displej
<i>MFD</i>	Multi-function Display	Multifunkčný displej
<i>NATO</i>	North Atlantic Treaty Organization	Organizácia Severoatlantickej zmluvy, Severoatlantická aliancia
<i>NMAA</i>	National Military Aviation Authority	Národný vojenský letecký úrad
<i>NSRP</i>	Neutral seat reference point	Neutrálny referenčný bod sedadla
<i>RAF</i>	Royal Air Force	Britské kráľovské letectvo
<i>RWR</i>	Radar warning receiver	Výstražný radarový prijímač
<i>TCB</i>	Type certification basis	Typová certifikačná báza
<i>WAD/LAD</i>	Wide/Large area display	Širokohlý displej