



## ANALÝZA PALUBNÉHO VYBAVENIA MODERNÝCH LIETADIEL

**Martin Mikolaj**  
Air Transport Department  
University of Žilina  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina

**Andrej Novák**  
Air Transport Department  
University of Žilina  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina

### Abstract

*This bachelor's thesis provides a detailed overview of the development, history and current status of aircraft on-board equipment. The first part deals with the evolution of cockpits from their origins to modern technological trends and future challenges. The next part analyzes the standards, recommendations and certification processes, with an emphasis on the ergonomics of the cockpit design and the requirements of the international organization for civil aviation. The following section addresses pilot adaptation to new cockpit systems, taking into account factors such as human factors, training and automation risks. In the end, current trends, perspectives of future development and their possible impact on pilots and flight safety are evaluated.*

### Keywords

*On-board equipment, Aircraft, Cockpit, Aviation.*

### 1. Úvod

S rýchlym technologickým pokrokom a neustálym vývojom v oblasti leteckého priemyslu sa stáva stále zložitejším porozumieť a prispôbiť sa novým trendom a technológiám v palubnom vybavení lietadiel. Každý let odzrkadľuje komplexnú súhrnu inovácií a štandardov, ktoré zabezpečujú bezpečnosť a efektivitu letu. Táto bakalárska práca je zameraná na vývoj, štandardy a perspektívy palubného vybavenia, pričom sa dôkladne preskúmajú nielen technologické aspekty, ale aj vplyv na pilotov a celkovú bezpečnosť letu.

Cieľom tejto práce je poskytnúť komplexný prehľad vývoja a histórie palubného vybavenia lietadiel, ako aj analyzovať súčasné trendy a perspektívy budúceho vývoja. V prvom rade sa budeme venovať detailnému preskúmaniu jednotlivých fáz vývoja palubného vybavenia od jeho skromných počiatkov až po moderné palubné systémy, ktoré sú dnes bežne používané v leteckom priemysle. Tento pohľad zahŕňa aj významné technologické trendy, ktoré formovali súčasný stav palubných systémov a naznačujú budúce možnosti v oblasti palubného vybavenia.

Druhá časť práce sa zameriava na štandardy a odporúčania pre palubné vybavenie, pričom sa detailne preskúmajú normy, smernice a požiadavky kľúčových inštitúcií v leteckom priemysle. Tieto štandardy sú kľúčové pre zabezpečenie bezpečnosti a spoľahlivosti palubného vybavenia a ich porozumenie je nevyhnutné pre každého aktéra v leteckom priemysle.

Ďalej sa v práci zameriavame na adaptáciu pilotov na nové systémy v kokpite lietadla. V tejto časti analyzujeme ľudské faktory, školenie a výzvy súvisiace s automatizáciou palubných systémov, pričom si kladieme otázku, ako tieto faktory ovplyvňujú schopnosť pilotov riadiť a správne interpretovať nové technológie.

V záverečnej časti práce vyhodnocujeme súčasný stav palubného vybavenia a diskutujeme o perspektívach budúceho vývoja a jeho možnom vplyve na pilotov a bezpečnosť letu. Tento prehľadný a detailný pohľad na palubné vybavenie lietadiel poskytuje dôležité informácie a poznatky pre letecký priemysel a zároveň prispieva k lepšiemu porozumeniu a adaptácii na nové technológie v tejto oblasti.

### 2. Vývoj a história palubného vybavenia lietadiel

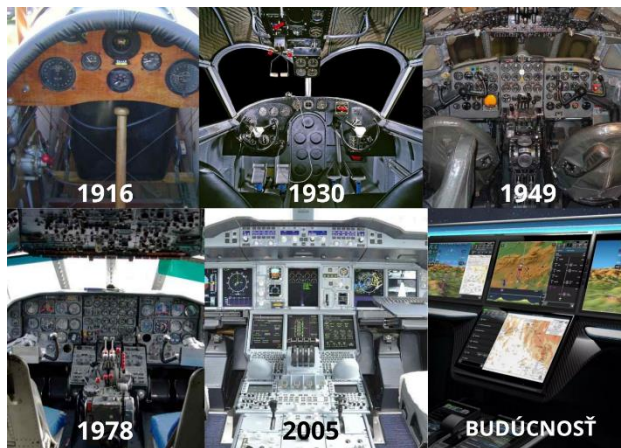
V histórii leteckej techniky sa palubné vybavenie lietadiel vyvíjalo v súlade s technologickým pokrokom a potrebami leteckej dopravy. Úvod do tejto problematiky nás zavádza do sveta avioniky, ktorá predstavuje súbor elektronických systémov v lietadlách. Medzi ne patria navigačné a komunikačné systémy, ako aj systémy riadenia letu. Tieto systémy umožňujú pilotom monitorovať a riadiť rôzne aspekty letu.

Počiatky palubného vybavenia siahajú do čias prvých letov, keď boli lietadlá vybavené základnými prístrojmi na meranie rýchlosti, výšky a smeru letu. Postupom času sa vývoj palubného vybavenia riadil historickými obdobiami, pričom sa striedali rôzne typy kokpitov. Začínali sme s analógovými kokpitmi, kde boli prístroje mechanické a informácie sa zobrazovali pomocou analógových ukazovateľov. Neskôr prišli syntetické kokpity, ktoré zaviedli digitálne displeje a umožnili zobrazenie informácií vo forme grafiky a textu. Dnešné plne digitálne kokpity predstavujú najnovšiu generáciu palubného vybavenia, kde dominujú výlučne digitálne displeje a systémy riadenia.



Obrázok 1. Typický súbor šiestich základných prístrojov "six-pack" v ľahkom lietadle. Zdroj: <https://www.jetphotos.com/> (2005)

S moderným palubným vybavením prichádzajú aj nové technologické trendy, ako sú bezpilotné lietadlá, vylepšené navigačné systémy pomocou GPS a zvýšené použitie automatizácie vo funkcii riadenia letu. Napriek tomu, že sme dosiahli významný pokrok, ešte stále čelíme výzvam. Medzi ne patria zabezpečenie bezpečnosti a spoľahlivosti systémov, ako aj optimalizácia nákladov. Budúci vývoj palubného vybavenia bude pravdepodobne smerovať k ešte väčšej integrácii a automatizácii, pričom sa bude klásť dôraz na zlepšenie výkonu a udržateľnosť. Tento neustály vývoj je kľúčovým faktorom v bezpečnosti a efektívnosti leteckej dopravy.



Obrázok 2. Vývoj palubného vybavenia podľa historických období rôznych typov lietadiel. Zdroj: <https://firstaerosquadron.com/> (2015)

### 3. Štandardy a odporúčania pre palubné vybavenie

Štandardy a odporúčania pre palubné vybavenie sú kľúčovými piliermi leteckého priemyslu, ktoré zabezpečujú bezpečnosť, spoľahlivosť a efektívnosť leteckej dopravy. Tieto normy a smernice sa vyvíjali v súlade s technologickým pokrokom a potrebami leteckého sektora. V úvode tejto problematiky sa zameriavame na definíciu štandardov a odporúčaní, ktoré stanovujú požiadavky a normy, ktoré musia lietadlá spĺňať.

Kľúčové inštitúcie, ako je Medzinárodná organizácia pre civilné letectvo (ICAO), Európska agentúra pre bezpečnosť letectva

(EASA) a Národná letecká správa (FAA) v Spojených štátoch, majú kľúčovú úlohu pri vydávaní smerníc, noriem a regulácií, ktoré ovplyvňujú vývoj a certifikáciu palubného vybavenia. Ich úlohou je zabezpečiť, aby palubné vybavenie spĺňalo vysoké štandardy bezpečnosti a interoperability.

Medzi najdôležitejšie požiadavky patria tie, ktoré stanovuje ICAO. Tieto požiadavky sú zamerané na bezpečnosť letov, navigáciu, komunikáciu a ďalšie aspekty prevádzky lietadiel. Rozdiely v štandardoch medzi všeobecným a dopravným letectvom sú podstatné, pretože dopravné letectvo podlieha prísnejším normám vzhľadom na komerčnú prevádzku.

Ergonómia a dizajn kokpitu majú kľúčový význam pre pohodlie a efektívnosť pilotov. Štandardy a regulácie EASA definujú požiadavky na ergonómiu a dizajn palubného vybavenia, čo zabezpečuje, že piloti majú adekvátne prostredie na prácu.

Schvaľovacie a certifikačné procesy sú kritické pre získanie povolenia na používanie palubného vybavenia. Tieto procesy zahŕňajú testovanie, hodnotenie a schvaľovanie palubných systémov a komponentov, aby sa zabezpečila ich spoľahlivosť a bezpečnosť.

Výzvy, ako je rýchly technologický pokrok a potreba aktualizácie existujúcich systémov, sú stále prítomné. Preto je neustála aktualizácia a prispôbovanie sa novým trendom nevyhnutné pre udržanie bezpečnosti a efektívnosti leteckej dopravy.

Prípadové štúdie poskytujú konkrétne príklady aplikácie štandardov a odporúčaní pre palubné vybavenie v reálnych situáciách. Tieto štúdie sú užitočné pre lepšie porozumenie implementácie a účinkov rôznych palubných systémov.

Dodržiavanie štandardov a odporúčaní pre palubné vybavenie je kľúčové pre zabezpečenie bezpečnosti a spoľahlivosti leteckej dopravy. Ich neustále aktualizovanie a prispôbovanie novým technologickým trendom a výzvam je dôležité pre udržanie pokroku v oblasti leteckej techniky.

### 4. Adaptácia pilota na nové systémy v kokpite lietadla

Adaptácia pilotov na nové palubné systémy predstavuje kritický proces v modernom leteckom priemysle. Pri zavádzaní nových technológií a systémov do kokpitov lietadiel je nevyhnutné zabezpečiť, aby piloti mali dostatočnú odbornú prípravu a schopnosť efektívne pracovať s týmito novinkami. Jedným z hlavných aspektov pri tejto adaptácii je ohľad na ľudský faktor. Dôležité je, aby nové palubné systémy boli navrhnuté s ohľadom na schopnosti, obmedzenia a potreby pilotov, aby boli intuitívne a ľahko ovládateľné.

Správne školenie, výcvik a osvedčené postupy sú nevyhnutné pre úspešnú integráciu nových systémov. Piloti musia byť oboznámení s novými ovládacími prvkami a procesmi prostredníctvom simulovaných scenárov a praktického cvičenia. Dizajn používateľského rozhrania hrá kľúčovú úlohu pri uľahčovaní adaptácie pilotov, pretože intuitívne a prehľadné rozhranie zjednodušuje navigáciu a ovládanie lietadla.

Automatizácia v palubných systémoch môže znížiť kognitívnu záťaž pilotov, ale zároveň môže viesť k riziku straty situačného povedomia a manuálnych zručností. Je dôležité nájsť rovnováhu medzi úlohami vykonávanými pilotmi a automatizovanými procesmi. Interakcia medzi pilotmi a počítačmi v kokpite prináša

vlastné výzvy, ako je riziko závislosti pilotov na systémoch a nedostatočná schopnosť rýchlo a efektívne reagovať v prípade zlyhania technológie.

S automatizáciou prichádzajú aj určité riziká, a preto je nevyhnutné mať adekvátne opatrenia na riadenie a minimalizáciu týchto rizík. Budúci vývoj palubných systémov bude pravdepodobne smerovať k ďalším zlepšeniam v oblasti použiteľnosti, bezpečnosti a interoperability. S novými technológiami ako umelá inteligencia a rozšírená realita sa otvárajú nové možnosti pre inovácie v oblasti palubného vybavenia, pričom je dôležité neustále sledovať ich vplyv na pilotov a celkovú bezpečnosť letectva.

## 5. Vyhodnotenie a diskusia

V súčasnom leteckom priemysle je palubné vybavenie kľúčovým faktorom ovplyvňujúcim bezpečnosť, efektívnosť a komfort letu. Trendy v palubnom vybavení smerujú k neustálemu technologickému pokroku a zlepšeniu funkcionalít, ktoré umožňujú pilotom lepšiu kontrolu a situačné povedomie. Súčasný stav reflektuje rastúci dopyt po integrovaných digitálnych technológiách a zvyšujúcej sa automatizácii v kokpitoch lietadiel.

S nárastom automatizácie a integrácie nových technológií môžu piloti čeliť novým výzvam, ako je potreba prispôbiť sa novým systémom a udržať si schopnosť rýchlo a efektívne reagovať na neočakávané situácie. Dôležité je mať na pamäti, že aj keď technologický pokrok prináša mnoho výhod, bezpečnosť letu musí byť vždy prioritou.

Vyhodnotenie a diskusia o súčasnom stave a budúcom vývoji palubného vybavenia nám umožňuje lepšie porozumieť trendom a výzvam, ktoré ovplyvňujú pilotov, letecké spoločnosti a celkovú bezpečnosť letectva. Je nevyhnutné sledovať a prispôbovať sa novým možnostiam a výzvam, ktoré prináša budúcnosť palubného vybavenia, aby sme zabezpečili bezpečnosť a efektívnosť leteckého priemyslu.

## 6. Metodika a metódy skúmania

V našej práci sme sa venovali dôkladnému prieskumu vývoja a histórie palubného vybavenia lietadiel pomocou metódy analýzy a porovnania. Tieto metódy nám umožnili komplexné a informované skúmanie problematiky palubného vybavenia lietadiel v našej bakalárskej práci. Súčasne sme zabezpečili, aby sme získali relevantné informácie z rôznych zdrojov a perspektív, čo nám umožnilo poskytnúť podrobný prehľad o vývoji, štandardoch a výzvach tejto oblasti.

Začali sme úvodom do palubného vybavenia, kde sme podrobne analyzovali oblasti ako avionika a rozhranie systémov lietadla. Následne sme sa venovali počiatočnému vývoju palubného vybavenia a jeho transformácii v rôznych historických obdobiach, od analógových kokpitov cez syntetické až po plne digitálne. Moderné palubné vybavenie sme analyzovali z hľadiska významných technologických trendov a identifikovali sme výzvy a smer budúceho vývoja.

Ďalšou dôležitou časťou našej práce bolo skúmanie štandardov a odporúčaní pre palubné vybavenie. Zaoberali sme sa nielen medzinárodnými normami, ale aj požiadavkami pre rôzne typy lietadiel, ergonómiou a dizajnom kokpitu, ako aj procesmi

schvaľovania a certifikácie. Na základe našej analýzy sme identifikovali výzvy a aktualizácie v tejto oblasti, čo nám poskytlo ucelený pohľad na regulačné aspekty palubného vybavenia.

Venovali sme sa aj adaptácii pilotov na nové systémy v kokpite. Preskúmali sme ich schopnosť prispôbiť sa novým technológiám a analyzovali sme vplyv na ľudský faktor, školenie a dizajn používateľského rozhrania. Diskutovali sme o kognitívnej záťaži a rizikách automatizácie, čo nám umožnilo získať lepší prehľad o tom, ako nové technológie ovplyvňujú pilotov a bezpečnosť letu.

Nakoniec sme vyhodnotili naše zistenia a diskutovali o súčasnom stave a trendoch v palubnom vybavení. Identifikovali sme perspektívy budúceho vývoja a analyzovali sme jeho možný vplyv na pilotov a bezpečnosť letu. Naša práca poskytla dôležité závery a odporúčania v oblasti palubného vybavenia lietadiel, ktoré môžu prispieť k lepšiemu porozumeniu tejto problematiky a podporiť ďalší vývoj v leteckom priemysle.

## 7. Výsledky

- Vývoj palubného vybavenia:

Palubné vybavenie lietadiel prešlo za posledné storočie dramatickým vývojom. Od jednoduchých mechanických prístrojov až po sofistikované elektronické systémy a integrované kokpity prešla avionika zásadnými zmenami, ktoré ovplyvnili spôsob lietania lietadiel.

- Štandardy a odporúčania:

Vývoj a používanie palubného vybavenia je riadené prísnyimi štandardmi a odporúčaniami stanovenými medzinárodnými a národnými regulačnými orgánmi. Tieto normy zabezpečujú bezpečnosť a spoľahlivosť palubných systémov a definujú minimálne požiadavky na palubné vybavenie pre rôzne typy lietadiel.

- Adaptácia pilotov:

Piloti sa musia neustále prispôbovať novým technológiám a palubným systémom. To si vyžaduje komplexný tréning a kontinuálne vzdelávanie, aby piloti boli schopní efektívne a bezpečne obsluhovať lietadlá s rôznym palubným vybavením.

- Vplyv na pilotov a bezpečnosť letu:

Palubné vybavenie má významný vplyv na pilotov a bezpečnosť letu. Automatizácia a pokročilé systémy riadenia letu znižujú záťaž pilotov a zvyšujú efektívnosť letu. Avšak narastajúca automatizácia prináša aj nové riziká a výzvy, ako napríklad strata zručností pilotov a potreba dôkladného testovania a certifikácie palubných systémov.

- Budúce trendy:

Budúcnosť palubného vybavenia je sľubná a plná inovácií. Očakávame ďalší nárast automatizácie, integráciu umelej inteligencie, rozšírenú realitu a virtuálnu realitu, ako aj vývoj autonómnych technológií. Všetky tieto trendy budú mať hlboký vplyv na letecký priemysel, pilotov a bezpečnosť letu.

Palubné vybavenie lietadiel je kľúčovou súčasťou moderného lietania. Jeho vývoj, štandardy, adaptácia pilotov a vplyv na bezpečnosť letu sú komplexné témy, ktoré si vyžadujú neustálu

analýzu a diskusiu. V tejto práci sme sa snažili poskytnúť komplexný prehľad o týchto témach a načrtnúť perspektívy budúceho vývoja.

*Okrem vyššie uvedených výsledkov môžeme spomenúť aj nasledovné:*

Palubné vybavenie hrá dôležitú úlohu pri znižovaní spotreby paliva a emisií CO<sub>2</sub> lietadiel.

Pokročilé navigačné a komunikačné systémy umožňujú efektívnejšie riadenie letovej prevádzky a znižujú riziko kolízií.

Palubné systémy na zaznamenávanie údajov a monitorovanie letu sú kľúčové pre vyšetrenie leteckých nehôd a prevenciu budúcich incidentov.

## 8. Záver

V priebehu písania bakalárskej práce sme podrobne preskúmali vývoj, štandardy a perspektívy palubného vybavenia lietadiel, pričom sme sa zamerali na jeho históriu, súčasné trendy a budúci vývoj. Naším cieľom bolo poskytnúť komplexný pohľad na túto problematiku a analyzovať jej vplyv na letecký priemysel a bezpečnosť letu.

Vývoj palubného vybavenia sme sledovali od jeho počiatkov až po súčasnosť, pričom sme zohľadnili významné technologické trendy a výzvy, ktoré ovplyvňujú jeho budúci vývoj. Ďalej sme preskúmali štandardy a odporúčania, ktoré riadia vývoj a prevádzku palubných systémov, a analyzovali sme adaptáciu pilotov na nové technológie v kokpite lietadla.

Na základe našej práce sme dospeli k poznatku, že palubné vybavenie lietadiel predstavuje kľúčový prvok leteckého priemyslu, ktorý sa neustále vyvíja a prispôsobuje novým technologickým trendom. Táto práca nám poskytla hlbší pohľad do problematiky palubného vybavenia a jeho vplyvu na bezpečnosť letu.

Sme presvedčení, že sme úspešne splnili cieľ práce, ktorým bolo poskytnúť prehľadný a detailný pohľad na palubné vybavenie lietadiel a jeho vývoj. Táto práca ponúka čitateľovi ucelený prehľad o tejto problematike a môže slúžiť ako zdroj informácií pre odborníkov v leteckom priemysle, študentov, ale aj širokej verejnosti.

Na záver by sme odporučili, aby letecké spoločnosti a výrobcovia palubného vybavenia sledovali aktuálne technologické trendy a prispôbili sa novým požiadavkám a štandardom v oblasti bezpečnosti a efektivity letu. Je dôležité, aby sa prax prispôbovala rýchlemu vývoju v tejto oblasti a zabezpečila tak bezpečnosť a efektívnosť leteckej dopravy v budúcnosti.

## PodĎakovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky KEGA 040ŽU-4/2022 Transfer progresívnych metód vzdelávania do študijného programu "Technológia údržby lietadiel" a "Letecká doprava".

## Referencie

- Amprius (2023). The Future of Technology of Aircraft Safety. Dostupné na: <https://amprius.com/aircraft-safety/>.
- Britannica Educational Publishing, R. C. (2019). The Complete History of Aviation: From Ballooning to Supersonic Flight. Britannica Educational Publishing. ISBN 9781615307258.
- Edwards, D. (2015). Cockpit Evolution – From The Beginning To Present. Dostupné na: <https://firstaerosquadron.com/2015/09/23/cockpit-evolution-from-the-beginning-to-present/>.
- EUROCAE (2019). Technical Work Programme. Dostupné na: <https://www.eurocae.net/media/1636/eurocae-twp-2020-public-version.pdf>.
- Fastercapital (2020). Airline Regulations. Dostupné na: <https://fastercapital.com/content/AAR-and-Airline-Regulations--Enhancing-Compliance-and-Safety.html#The-Future-of-AAR-and-Airline-Regulations.html>.
- ICAO (2011). International Civil Aviation Organization. ISSN 0018 8778.
- MIZRAHI, R. (2005). Dostupné na: <https://www.jetphotos.com/photo/466728>.
- McKay, G. (2010). Six Pack - The Primary Flight Instruments [online]. LearnToFly.ca. [cit. 2024.3.14]. Dostupné na: <https://learntofly.ca/six-pack-primary-flight-instruments/>.
- National Transportation Safety Board (2019). Response to Final Aircraft Accident Investigation Report. Ethiopian Airlines Flight 302. Boeing 737-8 MAX. Dostupné na: <https://www.nts.gov/investigations/Documents/Response%20to%20EAIB%20final%20report.pdf>.
- Paper, W. (2022). Future Connectivity For Aviation. Dostupné na: <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/137252/en>.
- Pilot Institute (2023). Flight Instruments Explained – 6 pack vs Glass Cockpit. Dostupné na: Flight Instruments Explained - 6 Pack vs Glass Cockpit - Pilot Institute.
- Rachael (2023). Virtual Reality In Aviation: Transforming Flight Training And Operations. Dostupné na: <https://drawandcode.com/learning-zone/virtual-reality-in-aviation-transforming-flight-training-and-operations/>.
- Steele, P. (2018). Future Of The Airline Industry 2035. Dostupné na: <https://www.iata.org/contentassets/086e8361b2f4423e88166845afdd2f03/iata-future-airline-industry.pdf>.
- Terekhov, V. (2023). The Future of Airlines: How AI and Automation Are Revolutionizing the Aviation Industry. Dostupné na: <https://attractgroup.com/blog/how-ai-and-automation-are-revolutionizing-the-aviation-industry/#>.
- WEITERING, H. (2023). Beyond Automation: How Artificial Intelligence Is Transforming Aviation. Dostupné na: <https://www.futureflight.aero/news-article/2023-07-13/beyond-automation-how-artificial-intelligence-transforming-aviation>.