

**UNIVERZITA PARDUBICE**  
**DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Snížení vlivu lidského faktoru na bezpečnost leteckého provozu  
pomocí moderních technologií**

**2025**

**Kristýna Koukalová**

**Univerzita Pardubice**  
**Dopravní fakulta Jana Pernera**

**Snížení vlivu lidského faktoru na bezpečnost  
leteckého provozu pomocí moderních  
technologií**

**Kristýna Koukalová**

**Bakalářská práce**

**2025**

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2024/2025

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Kristýna Koukalová**  
Osobní číslo: **D22277**  
Studijní program: **B0716P040001 Technika, technologie a řízení letecké dopravy**  
Téma práce: **Snížení vlivu lidského faktoru na bezpečnost leteckého provozu pomocí moderních technologií**  
Zadávací katedra: **Katedra letecké dopravy**

## Zásady pro vypracování

Moderní technologie, jako jsou automatizační systémy, systémy pro podporu rozhodování, monitorování zdraví posádky, pokročilé komunikační technologie, bezpečnostní systémy a umělá inteligence, hrají klíčovou roli při zvyšování bezpečnosti leteckého provozu. Práce se bude zabývat využitím pokročilých technologií k minimalizaci rizik spojených s lidskými chybami v letectví.

Bakalářská práce bude obsahovat:

- Analýza dostupných technologií pro snížení lidských chyb
- Posouzení významu a stupně rozšíření jednotlivých technologií
- Návrhy na implementaci vybraných technologií do provozu

Rozsah pracovní zprávy: **35-45**  
Rozsah grafických prací: **3-5**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Dle pokynů vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Šourek, Ph.D.**  
Katedra technologie a řízení dopravy

Datum zadání bakalářské práce: **24. února 2025**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **12. května 2025**

L.S.

---

**doc. Ing. Ladislav Řoutil, Ph.D.**  
děkan

---

**Ing. Michaela Ledvinová, Ph.D.**  
pověřená vedením katedry

V Pardubicích dne 25. února 2025

## PROHLÁŠENÍ AUTORA

Prohlašuji práci s názvem *Snížení vlivu lidského faktoru na bezpečnost leteckého provozu pomocí moderních technologií* jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 12.5.2025

## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Davidu Šourkovi, Ph.D., za jeho odborné vedení a připomínky v průběhu zpracování práce.

Zvláštní poděkování patří mé rodině a přátelům, kteří mne po celou dobu studia podporovali, motivovali a byli mi oporou nejen při psaní této práce, ale i během celého studijního období.

## **ANOTACE**

Práce analyzuje vliv lidského faktoru na bezpečnost civilního letectví a zkoumá možnosti jeho snížení pomocí vybraných moderních technologií. Na základě případových studií jsou identifikovány opakující se chyby posádek, které slouží jako základ pro návrh konkrétních technických opatření. Navržená řešení zahrnují biometrický monitoring, využití rozšířené reality, prediktivní systémy a adaptivní automatizaci. Výsledky ukazují potenciál těchto technologií při prevenci lidských pochybení a zvyšování bezpečnosti leteckého provozu.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

letecká bezpečnost, lidský faktor, moderní technologie, biometrické senzory, umělá inteligence, rozšířená realita, automatizace, civilní letectví

## **TITLE**

Reducing the Impact of Human Factors on Aviation Safety through Modern Technologies

## **ANNOTATION**

This thesis analyzes the impact of the human factor on the safety of civil aviation and explores ways to mitigate it through selected modern technologies. Based on case studies, recurrent crew errors are identified and used as a foundation for proposing specific technical measures. The proposed solutions include biometric monitoring, the use of augmented reality, predictive systems, and adaptive automation. The results demonstrate the potential of these technologies in preventing human errors and enhancing the overall safety of air transport operations.

## **KEYWORDS**

aviation safety, human factors, modern technologies, biometric sensors, artificial intelligence, augmented reality, automation, civil aviation

# OBSAH

<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>10</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>10</b>
<b>Seznam zkratek .....</b>	<b>11</b>
<b>Úvod.....</b>	<b>12</b>
<b>1 Bezpečnost leteckého provozu .....</b>	<b>14</b>
<b>2 Lidský faktor v letectví.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Psychologické faktory ovlivňující výkon pracovníků v letectví .....</b>	<b>17</b>
2.1.1 Stres v letectví a jeho fyziologické aspekty.....	17
2.1.2 Pozornost a kognitivní zátěž.....	18
2.1.3 Rozhodování pod tlakem a mechanismus jeho ovlivnění .....	19
<b>2.2 Fyziologické faktory ovlivňující výkon pracovníků v letectví.....</b>	<b>19</b>
2.2.1 Únava, její příčiny a vliv na výkon.....	19
2.2.2 Biologické rytmy (Jet Lag) a jejich vliv na tělo .....	19
<b>2.3 Behaviorální faktory ovlivňující výkon pracovníků v letectví .....</b>	<b>20</b>
2.3.1 Komunikační chyby a jejich příčiny.....	20
2.3.2 Týmová spolupráce.....	20
2.3.3 Rizikové chování .....	20
<b>2.4 Modely lidského faktoru: SHELL a PEAR.....</b>	<b>21</b>
2.4.1 Model SHELL .....	21
<b>2.5 Model PEAR .....</b>	<b>23</b>
<b>2.6 Psychofyziologická ergonomie pilotních kabin.....</b>	<b>24</b>
2.6.1 Kognitivní a senzorická zátěž v pilotní kabině.....	24
2.6.2 Fyzikální faktory a jejich vliv na výkon pilota.....	25
2.6.3 Biomechanika a rozmístění ovládacích prvků.....	25
<b>3 Moderní technologie v letectví .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 Enhanced Ground Proximity Warning System (EGPWS).....</b>	<b>27</b>

3.1.1	Princip fungování systému EGPWS.....	27
3.1.2	Význam EGPWS pro zvýšení bezpečnosti v letectví.....	28
<b>3.2</b>	<b>Traffic Collision Avoidance System (TCAS).....</b>	<b>29</b>
3.2.1	Princip fungování systému TCAS.....	29
3.2.2	Význam TCAS pro bezpečnost leteckého provozu.....	29
<b>3.3</b>	<b>Electronic Flight Bags (EFB).....</b>	<b>30</b>
3.3.1	Výhody EFB z hlediska bezpečnosti a efektivity.....	31
<b>3.4</b>	<b>Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) .....</b>	<b>32</b>
3.4.1	Bezpečnostní přínos pro řízení letového provozu .....	32
<b>3.5</b>	<b>Virtuální a rozšířená realita .....</b>	<b>33</b>
<b>3.6</b>	<b>Autoland .....</b>	<b>33</b>
<b>3.7</b>	<b>Systémy monitorující fyziologický a psychický stav posádek .....</b>	<b>34</b>
<b>3.8</b>	<b>Prediktivní údržby (predictive maintenance) .....</b>	<b>35</b>
<b>3.9</b>	<b>Controller-Pilot Data Link Communication – CPDLC .....</b>	<b>35</b>
<b>3.10</b>	<b>Technologie blockchain .....</b>	<b>36</b>
<b>3.11</b>	<b>Shrnutí významu a rozšíření moderních technologií v letectví .....</b>	<b>37</b>
<b>4</b>	<b>Možnosti implementace pokročilých systémů .....</b>	<b>38</b>
<b>4.1</b>	<b>Biometrické senzory a monitoring posádky.....</b>	<b>38</b>
4.1.1	Návrh implementace.....	38
4.1.2	Přínosy .....	39
4.1.3	Rizika.....	40
4.1.4	Mitigace .....	40
<b>4.2</b>	<b>Rozšířená realita (AR) a zlepšená situační orientace.....</b>	<b>41</b>
4.2.1	Přínosy .....	42
4.2.2	Úskalí.....	43
4.2.3	Mitigace .....	43
<b>4.3</b>	<b>Prediktivní systémy a umělá inteligence.....</b>	<b>44</b>

4.3.1	Přínosy .....	45
4.3.2	Úskalí a rizika .....	45
4.3.3	Mitigace .....	46
<b>4.4</b>	<b>Digitální dvojčata a simulace provozu.....</b>	<b>46</b>
4.4.1	Přínosy .....	47
4.4.2	Úskalí.....	48
4.4.3	Mitigace .....	48
<b>4.5</b>	<b>Adaptivní systémy řízení a autonomní funkce.....</b>	<b>49</b>
4.5.1	Přínosy .....	50
4.5.2	Rizika.....	50
4.5.3	Mitigace .....	50
<b>4.6</b>	<b>Modelový scénář: Krizová situace v roce 2035 .....</b>	<b>51</b>
4.6.1	Analýza scénáře .....	53
4.6.2	Závěr modelového scénáře .....	53
<b>5</b>	<b>Strategické souvislosti zavádění nových technologií.....</b>	<b>55</b>
<b>5.1</b>	<b>Kybernetická bezpečnost a technologická závislost .....</b>	<b>55</b>
<b>5.2</b>	<b>Etické a právní aspekty implementace autonomních systémů .....</b>	<b>57</b>
<b>Závěr.....</b>	<b>.....</b>	<b>58</b>
<b>Seznam použitých informačních zdrojů.....</b>	<b>.....</b>	<b>60</b>

## **SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1: diagram 4 základních pilířů systému SMS .....	14
Obrázek 2: Airbus Training Centre Europe .....	16
Obrázek 3: složení modelu SHELL .....	22
Obrázek 4: předpoklad ideálního vizuálního dosahu ve vertikální a horizontální rovině.....	26
Obrázek 5: ukázka systému CVS (Combined Vision System) od Collins Aerospace.....	41

## **SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1: tabulka významu a rozšíření jednotlivých technologií .....	37
-----------------------------------------------------------------------	----

## SEZNAM ZKRATEK

<b>ADS-B</b>	Automatic Dependent Surveillance–Broadcast
<b>AI</b>	Artificial Intelligence
<b>AP</b>	Autopilot
<b>AR</b>	Augmented Reality
<b>ATIS</b>	Automatic Terminal Information Service
<b>ATTOL</b>	Autonomous Taxi, Take-Off and Landing
<b>CAT</b>	Category ( <i>přistávacích podmínek, např. CAT II</i> )
<b>CFIT</b>	Controlled Flight Into Terrain
<b>CPDLC</b>	Controller–Pilot Data Link Communications
<b>CRM</b>	Crew Resource Management
<b>CS</b>	Certification Specification
<b>EASA</b>	European Union Aviation Safety Agency
<b>EDSS</b>	Electronic Decision Support System
<b>EEG</b>	Electroencephalogram
<b>EFB</b>	Electronic Flight Bag
<b>EGPWS</b>	Enhanced Ground Proximity Warning System
<b>EKG</b>	Elektrokardiogram
<b>EU</b>	European Union
<b>FAA</b>	Federal Aviation Administration
<b>FBW</b>	Fly-By-Wire
<b>FCC</b>	Flight Control Computer
<b>FOQA</b>	Flight Operations Quality Assurance
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>GPWS</b>	Ground Proximity Warning System
<b>HRV</b>	Heart Rate Variability
<b>HUD</b>	Head-Up Display
<b>IATA</b>	International Air Transport Association
<b>ICAO</b>	International Civil Aviation Organization
<b>ILS</b>	Instrument Landing System
<b>LED</b>	Light-Emitting Diode
<b>MFD</b>	Multi-Function Display
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Administration
<b>RA</b>	Resolution Advisory
<b>RTB</b>	Return To Base
<b>SESAR</b>	Single European Sky ATM Research
<b>SMS</b>	Safety Management System
<b>TA</b>	Traffic Advisory
<b>TCAS</b>	Traffic Collision Avoidance System
<b>USA</b>	United States of America
<b>VR</b>	Virtual Reality

# ÚVOD

Letecká doprava představuje jeden z nejdynamičtější se rozvíjejících oborů moderní doby, jehož význam celosvětově neustále narůstá. Spojuje země, kontinenty i jednotlivce, a výrazně přispívá k ekonomickému růstu, mezinárodní spolupráci i globální mobilitě. S tímto rostoucím významem však přirozeně souvisí i zvýšené nároky na bezpečnost leteckého provozu, která je dnes vnímána nejen jako nezbytná technická podmínka, ale také jako kritický faktor ovlivňující důvěru široké veřejnosti v tento způsob dopravy.

Navzdory pokročilé technologii a stále sofistikovanějšímu řízení provozu zůstává jedním z nejvýraznějších rizikových prvků právě lidský faktor. Statistiky dlouhodobě potvrzují, že lidské chyby stojí za většinou nehod a incidentů v letectví – ať už v podobě chybných rozhodnutí, nedostatečné komunikace mezi posádkou a dispečery, nedostatečného situačního povědomí, či prosté únavy a přetížení pilotů během náročných operací. Proto je jedním z hlavních trendů moderního vývoje v oblasti letectví důraz na minimalizaci dopadu těchto lidských chyb pomocí nových, efektivnějších a inovativních technologických řešení.

Tato bakalářská práce si klade za cíl důkladně analyzovat problematiku lidského faktoru v kontextu civilního letectví a představit současně dostupné i perspektivní technologické nástroje a systémy, které by mohly významně přispět ke zvýšení bezpečnosti letového provozu. V první, teoretické části práce budou podrobně představeny klíčové pojmy související s bezpečností leteckého provozu, lidským faktorem a jeho psychologickými i fyziologickými limity, a budou popsány nejdůležitější technologie, jež jsou dnes v praxi využívány k prevenci či zmírňování lidských chyb.

Následující analytická část se zaměřuje na detailní rozbor vybraných případových studií leteckých incidentů, jejichž primární příčinou bylo selhání člověka. Prostřednictvím této analýzy jsou identifikovány typické chyby a jejich opakující se vzorce, což umožňuje lépe porozumět příčinám lidských pochybení a navrhnout odpovídající technologická protipatření.

V závěrečné části pak tato práce přináší vlastní návrhy na implementaci pokročilých technologií do běžného provozu civilního letectví. Jsou zde představeny návrhy na využití umělé inteligence pro prediktivní analýzu rizik, biometrických systémů pro monitoring zdravotního a psychického stavu posádky, pokročilých asistenčních systémů využívajících principy rozšířené reality a také konceptu adaptivní automatizace, která přizpůsobuje míru podpory aktuálním potřebám pilotů.

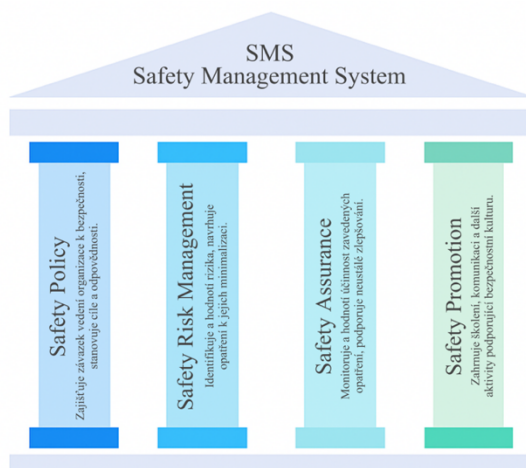
Závěr této práce následně shrnuje hlavní zjištění, hodnotí přínosy navržených řešení a předkládá doporučení pro jejich praktickou implementaci v této klíčové oblasti leteckého průmyslu.

# 1 BEZPEČNOST LETECKÉHO PROVOZU

Bezpečnost leteckého provozu je jedním ze základních atributů, který definuje kvalitu, spolehlivost a udržitelnost celého leteckého systému. Pojem „bezpečnost“ však není statický – představuje dynamický proces zahrnující soubor pravidel, technologií, organizačních opatření a lidských faktorů, jejichž cílem je minimalizovat pravděpodobnost výskytu nehod a incidentů v letecké dopravě.<sup>1</sup> Na rozdíl od jiných typů dopravy má každá chyba v letectví obvykle daleko závažnější důsledky, a to nejen z hlediska ztrát na lidských životech, ale také finančních škod, negativního dopadu na životní prostředí a ztráty důvěry veřejnosti v tento způsob dopravy.

Zajištění bezpečnosti v civilním letectví není omezeno pouze na technickou způsobilost letadel, ale zahrnuje také regulační rámce, provozní postupy, vzdělávání personálu a bezpečnostní kulturu organizace. Klíčovým prvkem této koncepce je tzv. **Safety Management System (SMS)**, což je komplexní systém řízení bezpečnosti, jehož cílem je identifikovat možná rizika, analyzovat je, vyhodnocovat a zavádět účinná opatření k jejich eliminaci nebo minimalizaci. SMS pracuje na principu nepřetržitého zlepšování bezpečnosti a zahrnuje čtyři základní pilíře: politiku bezpečnosti, řízení rizik, zajišťování bezpečnosti a podporu bezpečnostní kultury.<sup>2</sup>

3



Obrázek 1: diagram 4 základních pilířů systému SMS

<sup>1</sup> INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. *Annex 6 to the Convention on International Civil Aviation – Operation of Aircraft* [online]. Montréal: ICAO, 2022

<sup>2</sup> INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION. *Safety Management System* [online]. Montréal: IATA, 2024

<sup>3</sup> VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ. Diagram 4 základních pilířů systému SMS. 2025.

Historický vývoj bezpečnosti v letectví je úzce spojen s poznatky získanými při vyšetřování nehod a incidentů. Každá tragická událost, ke které v minulosti došlo, vedla k důkladnému přehodnocení dosavadních přístupů a následně k zavádění nových opatření. Za zásadní historický milník lze považovat vznik Mezinárodní organizace pro civilní letectví (ICAO), založené v roce 1944 Chicagskou úmluvou. ICAO se stalo globálním regulátorem, který standardizoval mezinárodní bezpečnostní normy, zaváděl jednotné komunikační protokoly a vytvořil platformu pro spolupráci mezi jednotlivými státy. Další významné organizace, jako je Evropská agentura pro bezpečnost letectví (EASA) a Federální úřad pro letectví USA (FAA), pak na regionální úrovni rozvíjejí a dále specifikují bezpečnostní standardy.<sup>4</sup>

Bezpečnostní kultura v letectví je založena na transparentnosti, odpovědnosti a otevřené komunikaci uvnitř organizací. Zavedení konceptů, jako je **Crew Resource Management (CRM)**, představovalo zásadní krok vpřed. CRM klade důraz na komunikaci a spolupráci v rámci posádky, rozhodovací strategie, schopnost reagovat na nestandardní situace a rozpoznávání chyb v raných fázích. Tento koncept vznikl v reakci na tragické nehody, které byly způsobeny především nedostatkem efektivní týmové spolupráce a selháním komunikace mezi piloty a řídicími letového provozu.<sup>5</sup>

Přestože došlo v posledních desetiletích k výraznému snížení počtu nehod, především díky technologickému pokroku, zdokonalení výcviku pilotů a důslednějším kontrolám technického stavu letadel, nelze bezpečnost považovat za absolutně dosažený stav. Nová rizika se objevují v souvislosti s rostoucím počtem letů, vyšší hustotou provozu, složitostí moderních letadel, ale také s psychickým a fyzickým zatížením posádek, které působí v náročných podmínkách, často pod tlakem času a s omezenými možnostmi regenerace.

Pro prevenci nehod má zásadní význam také systém monitorování a reportingu bezpečnostních událostí. Tento přístup umožňuje analyzovat incidenty a chyby, aniž by došlo k nehodě, a na jejich základě přijímat preventivní opatření. V praxi je zaveden systém dobrovolného hlášení (voluntary safety reporting), díky němuž mohou piloti a další členové posádky anonymně informovat o potenciálních rizicích bez obav ze sankcí. Tyto informace jsou

---

<sup>4</sup> INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. *The History of ICAO and the Chicago Convention* [online]. ICAO

<sup>5</sup> SKYbrary. *Crew Resource Management (CRM)* [online]. SKYbrary Aviation Safety

následně analyzovány odborníky, kteří navrhnou nápravná opatření, jež vedou ke kontinuálnímu zlepšování bezpečnosti.<sup>6</sup>

Významnou roli v oblasti bezpečnosti hrají také krizové scénáře a tréninkové simulace. Posádky pravidelně procházejí výcvikem, který zahrnuje nácvik různých mimořádných situací, jako jsou technické závady, ztráta kontroly nad letadlem, komunikační výpadky nebo zdravotní komplikace člena posádky. Díky realistickým simulacím je možné seznámit piloty s krizovými situacemi a trénovat jejich schopnost správně reagovat v reálném čase.<sup>7</sup>

Závěrem lze říci, že zajištění bezpečnosti v letectví je komplexní a multifaktoriální úkol, který vyžaduje systematické řízení rizik, průběžné vzdělávání personálu a implementaci pokročilých technologií. Pouze kombinací těchto faktorů lze dlouhodobě zajistit vysokou úroveň bezpečnosti, která odpovídá současným požadavkům leteckého provozu.

8



Obrázek 2: Airbus Training Centre Europe

---

<sup>6</sup> SKYbrary. *Voluntary Occurrence Reporting* [online]. SKYbrary

<sup>7</sup> PilotBible. *How Do Airline Pilots Train For The Unexpected In 2025?* [online].

<sup>8</sup> AIRBUS. *Nový simulátor A350 v Airbus Training Centre Europe*. [online].

## 2 LIDSKÝ FAKTOR V LETECTVÍ

Lidský faktor představuje jednu z nejdůležitějších proměnných v celém bezpečnostním systému letectví, zároveň však také nejsložitější na řízení a kontrolu. Navzdory vysoké míře automatizace moderních dopravních letadel zůstává člověk klíčovým prvkem, který přímo či nepřímo ovlivňuje průběh každého letu. Z tohoto důvodu je podrobné porozumění lidskému faktoru, jeho limitům a možnostem zvládnání lidských chyb klíčem ke zvýšení celkové úrovně bezpečnosti v letectví.

Obecně lze lidský faktor v letectví definovat jako soubor psychologických, fyziologických a behaviorálních vlastností a omezení, které ovlivňují výkon pilotů, dispečerů, techniků a dalších pracovníků v leteckém provozu. Zatímco fyziologické faktory zahrnují aspekty jako únava, ospalost nebo zdravotní stav, psychologické faktory se týkají kognitivních schopností, rozhodovacích strategií, stresových reakcí a komunikačních dovedností.<sup>9</sup>

### 2.1 Psychologické faktory ovlivňující výkon pracovníků v letectví

#### 2.1.1 Stres v letectví a jeho fyziologické aspekty

Stres je jedním z nejvýznamnějších psychologických faktorů, který zásadně ovlivňuje výkonnost pracovníků v leteckém provozu. Z psychologického hlediska stres nastává jako reakce organismu na situaci, která je vnímána jako ohrožující nebo mimo možnosti jedince situaci efektivně zvládnout.

V letectví se pracovníci běžně dostávají do stresových situací kvůli extrémní zodpovědnosti za lidské životy, časovým omezením, nepředvídatelným okolnostem či vysokým nárokům na přesnost a bezchybnost. Fyziologicky stres iniciuje reakci „bojuj nebo uteč“, při níž sympatický nervový systém aktivuje nadledvinky, které vylučují stresové hormony – adrenalin a kortizol. Tyto hormony způsobují zrychlení srdečního tepu, zvýšení krevního tlaku, rozšíření zornic a mobilizaci energetických zdrojů.

---

<sup>9</sup> FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. *Human Factors in Aviation Maintenance* [online]. Washington, D.C.: FAA, 2008

Z krátkodobého hlediska může tato fyziologická odpověď zvýšit bdělost a schopnost reagovat rychleji. Avšak pokud stres přetrvává dlouhodobě, dochází ke snížení kognitivních funkcí, ztrátě schopnosti soustředění a ke zhoršení rozhodovacích schopností. Chronický stres může dokonce vyvolat syndrom vyhoření, který vede k trvalé neschopnosti pracovníka efektivně vykonávat svou profesi.<sup>1011</sup>

Prevencí stresu je zejména systematické školení pracovníků v technikách stresového managementu (např. relaxační techniky, mindfulness, simulace krizových situací) a úpravy pracovního režimu, které umožňují dostatečnou regeneraci sil.<sup>12</sup>

### 2.1.2 Pozornost a kognitivní zátěž

Pozornost je základní psychologickou funkcí, která umožňuje pilotům, dispečerům a technikům zpracovávat a analyzovat důležité informace během své práce. Z hlediska kognitivní psychologie je pozornost selektivní – vybírá a zpracovává jen některé podněty, zatímco jiné ignoruje.

V prostředí letectví je člověk často vystaven velkému množství informací současně, což vytváří tzv. kognitivní zátěž. Pokud množství informací přesáhne kapacitu pracovní paměti, dochází ke kognitivnímu přetížení. To se projevuje zpomalenými reakcemi, sníženou přesností, nedostatečným situačním povědomím a vyšší pravděpodobností chybných rozhodnutí.<sup>13</sup>

Proto je nutné věnovat pozornost ergonomickému designu kabin, displejů, navigačních systémů a plánování pracovních aktivit. Moderní technologie, například systémy řízení informací nebo adaptivní rozhraní, jsou schopny snížit kognitivní zátěž tím, že prezentují pilotovi pouze nezbytně nutné informace v dané situaci.

---

<sup>10</sup> KLOUDOVÁ, Gabriela. Adaptace vojenských pilotů nadzvukových letadel na stresovou zátěž.

<sup>11</sup> SCHREIBER, Vratislav. *SOUČASNÝ POHLED NA STRES A ENDOKRINNÍ ODPOVĚĎ* [online].

<sup>12</sup> EUROCONTROL. *Managing stress in ATM* [online]. 2020

<sup>13</sup> ZHOU, Wn-gang, Pan-pan YU, Liang-hai WU, Yu-fei CAO, Yue ZHOU a Jia-jun YUAN. *Pilot turning behavior cognitive load analysis in simulated flight* [online].

### **2.1.3 Rozhodování pod tlakem a mechanismus jeho ovlivnění**

Rozhodování v letectví je často spojeno s vysokou časovou tísní a velkou mírou odpovědnosti. Pod psychickým tlakem mozek zkracuje analytické myšlení a častěji se spoléhá na rychlé heuristiky (jednoduché mentální zkratky). Ačkoliv heuristiky mohou být za normálních podmínek užitečné, v krizových situacích často vedou k chybným závěrům. Proto je klíčovou součástí výcviku pilotů a dispečerů posilování schopnosti rozhodovat se i pod extrémním tlakem pomocí opakovaných simulací kritických situací.<sup>14</sup>

## **2.2 Fyziologické faktory ovlivňující výkon pracovníků v letectví**

### **2.2.1 Únava, její příčiny a vliv na výkon**

Únava patří mezi fyziologické faktory, které zásadně ovlivňují bezpečnost a spolehlivost výkonu pracovníků v letectví. Únava vzniká jako přirozená reakce organismu na prodlouženou fyzickou či mentální aktivitu bez dostatečného odpočinku. Na neurologické úrovni únava snižuje aktivitu neuronů v mozkových oblastech odpovědných za pozornost, reakční rychlost a rozhodování.

Vliv únavy na výkon je v letectví velmi rizikový, protože zpomaluje reakce, snižuje schopnost přesně vyhodnocovat informace a negativně ovlivňuje situační povědomí. Preventivní opatření zahrnují nastavení režimu odpočinku mezi lety, přestávky během směn a využívání systému monitoringu únavy, který například pomocí senzorů srdeční frekvence dokáže identifikovat pokles bdělosti pilota či dispečera.<sup>9</sup>

### **2.2.2 Biologické rytmy (Jet Lag) a jejich vliv na tělo**

Jet lag je výsledkem narušení cirkadiánních rytmů, což jsou biologické cykly řízené vnitřními biologickými hodinami organismu. Tyto rytmy ovlivňují bdělost, spánek, trávení a další tělesné procesy. Při přeletech přes časová pásma dochází k rychlé změně časového režimu, což může

---

<sup>14</sup> FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. *Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge, Chapter 2: Aeronautical Decision-Making* [online]. 2023

způsobit celkové vyčerpání, poruchy spánku, sníženou schopnost koncentrace a pokles fyzické výkonnosti. Jet lag lze částečně minimalizovat správným plánováním letových harmonogramů, regulací světelné expozice a podáváním melatoninu, hormonu, který reguluje spánkové cykly.<sup>15</sup>

## **2.3 Behaviorální faktory ovlivňující výkon pracovníků v letectví**

### **2.3.1 Komunikační chyby a jejich příčiny**

Komunikační chyby v letectví vznikají nejčastěji z důvodu nejednoznačnosti, nedostatečného potvrzení přijetí zprávy či jazykových bariér. Přirozená lidská tendence domnívat se, že sdělení bylo pochopeno správně, může vést k fatálním nedorozuměním.

Preventivní opatření zahrnují jasné standardizované fráze, pravidelné potvrzování příjmu informací a speciální školení pro efektivní komunikaci v týmu.<sup>16</sup>

### **2.3.2 Týmová spolupráce**

Chyby týmové spolupráce mohou být způsobeny nejasně definovanými rolemi, nedostatečným sdílením informací nebo špatnou vzájemnou komunikací. Výcvik CRM pomáhá budovat efektivní spolupráci a učí členy týmu jasně a efektivně komunikovat, což minimalizuje vznik konfliktů a chyb.<sup>15</sup>

### **2.3.3 Rizikové chování**

Rizikové chování v letectví zahrnuje úmyslné nebo nevědomé porušování bezpečnostních předpisů a ignorování standardních postupů. Důvodem bývá často falešná sebedůvěra nebo absence negativních zkušeností v minulosti. Prevencí tohoto rizika je důsledné vymáhání bezpečnostních pravidel, pravidelné kontroly a důsledná zpětná vazba na chování zaměstnanců.<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> SKYbrary. Key Training Topics About Managing Jet Lag (OGHFA BN) [online].

<sup>16</sup> FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. *Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge, Chapter 2: Aeronautical Decision-Making* [online]. 2023

## 2.4 Modely lidského faktoru: SHELL a PEAR

Jedním ze základních předpokladů efektivního řízení bezpečnosti v letectví je porozumění faktorům, které ovlivňují lidské chování a výkonnost v různých provozních podmínkách. Aby bylo možné tyto faktory správně identifikovat, analyzovat a řídit, byly vyvinuty konceptuální modely lidského faktoru, z nichž nejznámější a nejrozšířenější jsou modely **SHELL** a **PEAR**. Tyto modely slouží jako rámce pro systematické zkoumání interakcí mezi člověkem a ostatními prvky leteckého systému. Nejenže pomáhají identifikovat příčiny incidentů a nehod, ale zároveň poskytují návod, jak těmto událostem předcházet.

### 2.4.1 Model SHELL

Model SHELL je jedním z nejvíce využívaných nástrojů v oblasti lidského faktoru. Název modelu je akronymem čtyř základních komponent, které ovlivňují lidské chování v letectví:

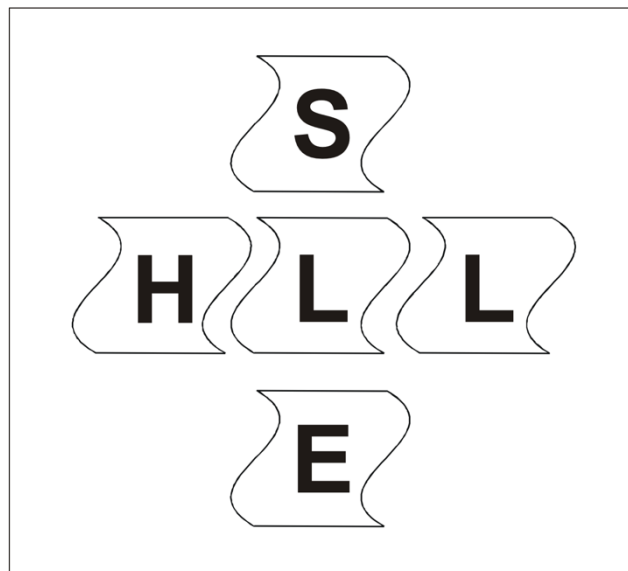
1. **S – Software:** zahrnuje nehmotné systémy, jako jsou pravidla, provozní příručky, kontrolní seznamy, pracovní postupy, předpisy, schémata a instrukce. Tyto prvky musí být srozumitelné, aktuální a uživatelsky přívětivé.
2. **H – Hardware:** představuje fyzické nástroje a zařízení, se kterými člověk interaguje – přístrojové panely, sedadla, ovládací prvky, komunikační zařízení, nástroje údržby. Důležitá je jejich ergonomie a intuitivnost.
3. **E – Environment:** označuje pracovní prostředí, tedy fyzikální a sociální podmínky, ve kterých pracovník funguje. Patří sem např. teplota, osvětlení, hluk, vibrace, počasí, ale také organizační klima, pracovní kultura a týmová dynamika.
4. **L – Liveware:** jádro modelu, tj. samotný člověk – pilot, dispečer, technik, pozemní personál. Zahrnuje jeho kognitivní schopnosti, omezení, emoce, zkušenosti, motivaci i psychofyziologický stav.

Centrální složka (Liveware) je obklopena třemi dalšími složkami, přičemž SHELL model popisuje interakce v následujících rozhraních:

1. **L–S (člověk–software):** Například srozumitelnost letové příručky – pokud je struktura manuálu chaotická nebo jazyk příliš technický, roste riziko nesprávného pochopení.
2. **L–H (člověk–hardware):** Příkladem může být nepřehledné rozmístění ovládacích prvků v kokpitu, což zvyšuje pravděpodobnost chybného úkonu, zejména ve stresových situacích.
3. **L–E (člověk–prostředí):** Vysoká hladina hluku v kabině údržby může ztěžovat komunikaci mezi techniky, což vede ke zvýšení rizika nehod.
4. **L–L (člověk–člověk):** Komunikační a kooperativní rozhraní mezi členy posádky nebo mezi pilotem a dispečerem. Je zásadní pro efektivní sdílení informací a rozhodování.

Silnou stránkou modelu SHELL je jeho vizualizace komplexních vztahů mezi člověkem a okolím. Používá se nejen při vyšetřování incidentů, ale i v návrhu kabin letadel, tvorbě školících programů a při optimalizaci pracovního prostředí. V moderním letectví se model SHELL často integruje s dalšími přístupy, např. s SMS.<sup>18</sup>

17



Obrázek 3: složení modelu SHELL

---

<sup>17</sup> ICAO. *Safety Management Manual (SMM)*. Doc 9859, 3. vydání. Montreal: International Civil Aviation Organization, 2013.

## 2.5 Model PEAR

Model PEAR (People, Environment, Actions, Resources) je koncepčně jednodušší, avšak prakticky velmi efektivní nástroj, který se uplatňuje především v oblasti letecké údržby. Vznikl jako reakce na vysoký podíl lidských chyb v údržbě a logistice a jeho hlavním cílem je vytvořit pracovní podmínky, které tyto chyby minimalizují.

1. **People (lidé):** zahrnuje pracovníky samotné – jejich fyzickou a duševní kondici, úroveň výcviku, zkušenosti, míru únavy, motivaci a pozornost. Model upozorňuje na limity lidského výkonu a význam osobní pohody (well-being).
2. **Environment (prostředí):** hodnotí pracovní podmínky – přístupnost pracoviště, osvětlení, teplotu, hluchost, ale také pracovní tempo a klimatickou zátěž. V chladném nebo špatně osvětleném hangáru roste pravděpodobnost opomenutí nebo chybného provedení úkolu.
3. **Actions (činnosti):** zaměřuje se na povahu pracovních úkonů – jejich složitost, opakovatelnost, rizikovost, míru spěchu nebo přerušování. Např. rušivá práce během kontroly palivového systému může vést k přehlédnutí netěsnosti.
4. **Resources (zdroje):** posuzuje, zda má pracovník k dispozici všechny potřebné nástroje, návody, zařízení a personální podporu. Nedostatek pomůcek, neaktuální dokumentace či absence zálohového pracovníka výrazně zvyšují riziko chyby.

Model PEAR je oblíbený pro svou srozumitelnost a přímé použití v provozní praxi. Pomáhá například při vytváření bezpečnostních checklistů, v metodice školení nebo při vedení „toolbox talks“ – krátkých bezpečnostních porad před zahájením práce. Použití modelu PEAR napomáhá k vytvoření proaktivní bezpečnostní kultury, která klade důraz na prevenci místo reakce na následky.<sup>1819</sup>

---

<sup>18</sup> SKYbrary. *PEAR Model* [online].

<sup>19</sup> WILLIAM B., Dr. Johnson a Dr. Maddox MICHAEL E. *A Model to Explain Human Factors in Aviation Maintenance* [online]. 2007

## 2.6 Psychofyziologická ergonomie pilotních kabin

Psychofyziologická ergonomie pilotních kabin představuje klíčovou oblast v rámci bezpečnosti leteckého provozu, jelikož se zabývá vztahem mezi konstrukcí pracoviště pilota a jeho fyzickými, smyslovými a mentálními schopnostmi. Ve vysokodynamickém prostředí letectví, kde jsou rozhodnutí přijímána v řádu sekund a jakákoli chyba může mít fatální následky, hraje kvalita ergonomického uspořádání kokpitu zásadní roli při snižování kognitivní a fyzické zátěže pilotů. Vhodně navržené rozhraní mezi člověkem a technologií (Human-Machine Interface) může významně přispět ke snížení výskytu lidských chyb, zlepšení situačního povědomí a celkové výkonnosti posádky.<sup>20</sup>

### 2.6.1 Kognitivní a senzorická zátěž v pilotní kabině

Pilotní kabina je prostředí s vysokými nároky na pozornost, rozhodování a multitasking. Pilot musí během letu simultánně zpracovávat informace z více zdrojů: letové přístroje, vizuální orientace, komunikace s řízením letového provozu, navigační systémy, stav techniky a aktuální počasí. Psychofyziologická ergonomie usiluje o to, aby byly tyto informace organizovány a prezentovány tak, aby odpovídaly přirozeným procesům lidského vnímání a rozhodování.

Významnou roli zde hraje koncept situational awareness (situačního povědomí). Aby pilot udržel přesný obraz o stavu letadla a okolního prostředí, musí ergonomie kabiny zajistit rychlou a snadnou dostupnost kritických informací – například pomocí dobře strukturovaných displejů, optimálního rozmístění ovládacích prvků a hierarchizace alarmů. Narušení situačního povědomí v důsledku nepřehledného rozvržení přístrojů či zahlcení informacemi patří mezi časté příčiny incidentů a nehod.<sup>21</sup>

---

<sup>20</sup> FOMINYKH, Daniil a Dmitry LEVIN. Engineering-psychological and ergonomic design of the aircraft crew workplace [online].

<sup>21</sup> ARMSTRONG, Erika. Cognitive Overload in Aviation Training: Understanding and Mitigating Risks [online]. 2024.

## 2.6.2 Fyzikální faktory a jejich vliv na výkon pilota

Fyzické parametry prostředí mají přímý dopad na fyziologický stav a výkon pilotů. Ergonomie kabin se zabývá optimalizací těchto faktorů:

1. **Osvětlení:** Musí být dostatečné pro čitelnost přístrojů, ale zároveň nesmí oslnit či unavovat oči. Moderní kokpity využívají adaptivní LED osvětlení, které se přizpůsobuje denní době a venkovním podmínkám.
2. **Teplota a ventilace:** Neoptimální teplota vede k únavě a snížení kognitivních funkcí. Ergonomický design zahrnuje individuálně nastavitelné ventilační systémy přímo na sedadlech pilotů.
3. **Hluk:** Dlouhodobá expozice hluku nad 85 dB zhoršuje koncentraci a může poškodit sluch. Moderní letadla jsou vybavena účinnou izolací a aktivními systémy potlačení hluku (Aktive Noise Control).
4. **Vibrace:** Dlouhodobé vibrace negativně ovlivňují jemnou motoriku a mohou vést k chronickým obtížím. Konstrukce sedadel a řízení proto zahrnuje tlumicí prvky minimalizující přenos vibrací na pilota.<sup>22</sup>

## 2.6.3 Biomechanika a rozmístění ovládacích prvků

Dalším aspektem psychofyziologické ergonomie je biomechanická optimalizace – tedy navržení sedadel, pák, kniplů a dalších ovladačů tak, aby minimalizovaly svalovou únavu a umožnily intuitivní ovládání i v krizových situacích.

---

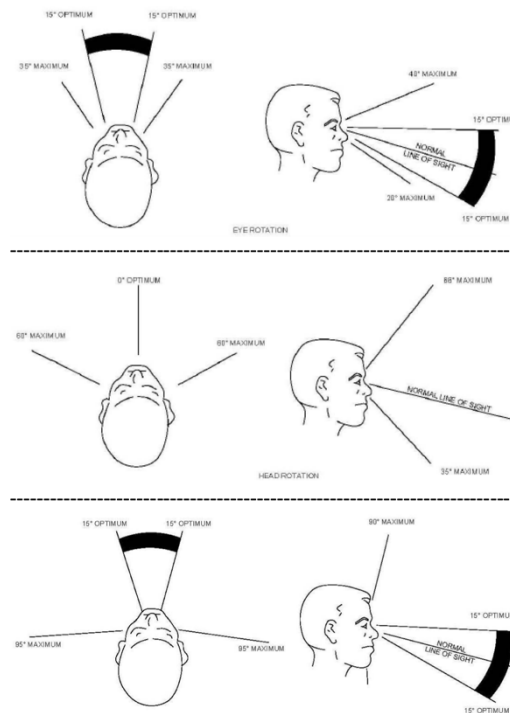
<sup>22</sup> KIRWAN, Barry. Human Factors Requirements for Human-AI Teaming in Aviation [online]. 2025.

Zásady zahrnují například:

1. **Dosažitelnost:** Všechny kritické ovládací prvky by měly být dosažitelné bez nutnosti výrazného pohybu trupu nebo přerušení vizuální kontroly přístrojů.
2. **Síla a zpětná vazba:** Ovladače musí být dimenzovány na sílu, kterou pilot běžně vyvine, a musí poskytovat dostatečnou hmatovou zpětnou vazbu.
3. **Standardizace:** Umístění a směr ovládacích prvků by měly být v souladu s oborovými standardy (např. "dopředu je více výkonu") pro minimalizaci chyb při přechodu mezi různými typy letadel.

Moderní trendem je také využívání adaptivních ergonomických prvků – např. sedadel, která se automaticky přizpůsobují tělesným parametrům pilota, nebo interaktivních dotykových displejů, které mění rozložení funkcí podle aktuální fáze letu.<sup>23</sup>

24



Obrázek 4: předpoklad ideálního vizuálního dosahu ve vertikální a horizontální rovině

<sup>23</sup> YEH, Michelle, Cathy SWIDER, Young Jin JO a Colleen DONOVAN. Human Factors Considerations in the Design and Evaluation of Flight Deck Displays and Controls Version 2.0 [online].

<sup>24</sup> U.S. Department of Transportation. Human Factors Considerations in the Design and Evaluation of Flight Deck Displays and Controls – Version 2. Cambridge, MA: Volpe National Transportation Systems Center, 2016.

### **3 MODERNÍ TECHNOLOGIE V LETECTVÍ**

Moderní technologie hrají v současném letectví zásadní roli při zvyšování bezpečnosti, zejména tím, že cíleně snižují negativní dopady lidského faktoru. Vzhledem k tomu, že je lidská chyba stále jednou z nejčastějších příčin nehod a incidentů, představují technologie jeden z nejučinnějších způsobů, jak tyto chyby eliminovat, nebo alespoň zmírnit jejich následky. Tato kapitola podrobně představuje a analyzuje klíčové technologické inovace, které jsou v současné době nasazovány či testovány v civilním letectví.

Mezi základní kategorie těchto technologií patří pokročilé asistenční systémy v kokpitu, automatizované systémy řízení letového provozu, elektronické podpůrné nástroje (Electronic Flight Bags – EFB), systémy využívající prvky umělé inteligence (AI) a pokročilé výcvikové systémy založené na virtuální a rozšířené realitě (VR a AR).

#### **3.1 Enhanced Ground Proximity Warning System (EGPWS)**

Enhanced Ground Proximity Warning System (EGPWS), v překladu zdokonalený systém varování před blízkostí země, představuje zásadní bezpečnostní technologii používanou v současných letadlech ke snížení rizika tzv. nehod typu CFIT (Controlled Flight into Terrain),<sup>25</sup> tedy nehod, při kterých letadlo řízené piloty narazí do zemského povrchu, aniž by si posádka byla vědoma nebezpečí. CFIT nehody bývaly historicky jednou z nejčastějších a nejtragičtějších příčin úmrtí v letectví.

##### **3.1.1 Princip fungování systému EGPWS**

EGPWS pracuje na principu kombinace několika informačních zdrojů a senzorů, díky kterým je schopen předem identifikovat riziko nárazu do země a včas na něj posádku upozornit.

---

<sup>25</sup> IATA. Controlled Flight Into Terrain (CFIT) [online].

Základními datovými vstupy tohoto systému jsou:

1. aktuální poloha letadla získávaná z GPS,
2. údaje z radiovýškoměru (radar altimeter),
3. informace z barometrického výškoměru,
4. databáze terénu uložená v počítači EGPWS,
5. aktuální letová konfigurace (např. poloha podvozku, vztlakových klapek atd.).

V okamžiku, kdy systém zaznamená, že trajektorie letu může vést ke střetu se zemí či překážkou, automaticky spouští výstrahu ve formě vizuálního i zvukového varování v kabině pilotů. Vizuální varování se zpravidla zobrazují na multifunkčním displeji (MFD) a zvukové varování jsou ve formě jasných a jednoznačných hlasových pokynů „*Terrain ahead! Pull up!*“, „*Obstacle ahead!*“, apod.

Základním rozšířením oproti původnímu systému GPWS je právě databáze terénu, která umožňuje systému EGPWS predikovat nebezpečí srážky s překážkou či terénem v předstihu, nikoli až v momentě detekce radiovýškoměrem.<sup>26</sup>

### **3.1.2 Význam EGPWS pro zvýšení bezpečnosti v letectví**

Od zavedení systému EGPWS do provozu došlo k dramatickému snížení počtu nehod typu CFIT. Přestože představuje revoluční bezpečnostní technologii, nelze se na ni zcela spoléhat bez správného výcviku pilotů. Piloti musí být důkladně vyškoleni, aby správně reagovali na výstrahy, a neignorovali je či nepodléhali falešné jistotě, že systém dokáže všechny rizikové situace řešit automaticky. Správná interpretace varování systému a okamžitá správná reakce pilotů jsou klíčové pro jeho efektivní fungování.<sup>24</sup>

---

<sup>26</sup> IATA. Performance assessment of pilot response to Enhanced Ground Proximity Warning System (EGPWS) [online].

## 3.2 Traffic Collision Avoidance System (TCAS)

Traffic Collision Avoidance System, známý pod zkratkou TCAS, je moderní bezpečnostní systém, který výrazně přispívá ke zvýšení bezpečnosti letového provozu tím, že předchází vzdušným kolizím mezi letadly. Jeho hlavní funkcí je aktivní sledování letadel v okolním prostoru a poskytování varování a doporučení pilotům, jak se vyhnout hrožící srážce.<sup>27</sup>

Historicky se ukázalo, že mnoho kolizí letadel ve vzduchu bylo způsobeno neúmyslným přehlédnutím druhého letadla nebo špatnou komunikací mezi letovou posádkou a řízením letového provozu. Zavedení systému TCAS dramaticky snížilo počet těchto incidentů.

### 3.2.1 Princip fungování systému TCAS

TCAS pracuje na principu vzájemné komunikace mezi jednotlivými letadly, vybavenými tzv. odpovídáči (transpondéry) Mode C nebo Mode S. Každé letadlo pomocí TCAS vysílá pravidelné dotazy do okolí. Pokud přijme odpověď od jiného letadla, systém automaticky vyhodnotí jeho polohu, výšku, směr a rychlost letu a určí riziko potenciální kolize.

Pokud systém detekuje potenciální riziko střetu, generuje dvě úrovně varování:

1. **Traffic Advisory (TA):** Doporučení pilotům, aby zvýšili svou bdělost a sledovali potenciálně konfliktní letadlo. Toto varování dává posádce dostatek času k přípravě na případnou akci.
2. **Resolution Advisory (RA):** Přímé doporučení k okamžitému manévru (např. „*Climb, Climb*“ nebo „*Descend, Descend*“), který pilot musí ihned provést, aby zabránil kolizi.<sup>25</sup>

### 3.2.2 Význam TCAS pro bezpečnost leteckého provozu

Od svého zavedení se TCAS stal klíčovým nástrojem pro prevenci kolizí ve vzduchu, a to zejména v situacích, kdy selže konvenční postup řízení letového provozu nebo dojde k chybné interpretaci pokynů ze strany pilotů či dispečerů. Automatizované hlášení konfliktů a doporučení únikových manévrů významně snižuje závislost na lidském úsudku v časově kritických

---

<sup>27</sup> Federal Aviation Administration. *Introduction to TCAS II, Version 7.1* [online].

okamžicích. Tímto způsobem TCAS eliminuje potenciální důsledky zpožděné reakce, komunikačního nedorozumění či ztráty situačního přehledu. Statistiky mezinárodních organizací (např. ICAO a FAA) potvrzují, že po zavedení TCAS došlo k dramatickému poklesu počtu vzdušných kolizí, přičemž systém opakovaně prokázal svou efektivitu i v případech, kdy lidské rozhodování nebylo dostatečně rychlé či přesné. Z hlediska snížení dopadu lidského faktoru tedy TCAS plní klíčovou roli jako nezávislý bezpečnostní prvek.<sup>28</sup>

### 3.3 Electronic Flight Bags (EFB)

V překladu elektronický letový kufřík, je digitální nástroj používaný leteckými posádkami ke správě a zobrazení veškerých provozních a navigačních dokumentů, výpočtů a dat potřebných pro bezpečný a efektivní průběh letu. EFB nahrazuje tradiční papírové manuály, tabulky, mapy a plánovací formuláře elektronickou formou a integruje je do kompaktního zařízení – často ve formě tabletu, integrovaného displeje nebo vestavěného kokpitového systému.<sup>29</sup>

EFB slouží jako centralizovaný digitální nástroj, který umožňuje pilotům zobrazit navigační mapy (včetně pohyblivých map), získat aktuální meteorologická data, přistupovat k manuálům letadel, provádět výpočty hmotnosti, vyvážení a výkonu letadla, přijímat aktualizace NOTAMů, ATIS informací a letových plánů a automaticky synchronizovat data s pozemními systémy a dispečerským softwarem.

Moderní EFB výrazně přispívá ke zvýšení efektivity posádky, snížení chybovosti, rychlejší orientaci ve změnách provozních podmínek a zlepšení celkové bezpečnosti leteckého provozu.<sup>30</sup>

---

<sup>28</sup> Federal Aviation Administration. *Introduction to TCAS II, Version 7.1* [online].

<sup>29</sup> SKYbrary. *Electronic Flight Bag (EFB)* [online].

<sup>30</sup> International Flight Support (IFS). *What is EFB in aviation?* [online].

### 3.3.1 Výhody EFB z hlediska bezpečnosti a efektivity

Zavedení EFB přineslo několik zásadních výhod:

1. **Úspora nákladů:** EFB nahrazuje tištěné dokumenty, jako jsou mapy, letové plány a manuály. To šetří náklady na tisk a distribuci. Elektronické verze lze navíc snadno a rychle aktualizovat, takže odpadá potřeba neustálého přetiskování. Některé aerolinky si mohou systém upravovat samy, což dále snižuje náklady.
2. **Nižší hmotnost – nižší spotřeba paliva:** Papírové kufříky s dokumentací váží i přes 20 kg. EFB je výrazně lehčí, což vede ke snížení hmotnosti letadla a tím i k úspoře paliva. I malá úspora hmotnosti má při pravidelném provozu velký dopad.
3. **Rychlejší předletová příprava:** EFB má přehledné rozhraní a rychlý přístup ke všem potřebným informacím. Piloti tak při přípravě na let nemusí zdlouhavě hledat v papírech a mají vše na jednom místě. To šetří čas a snižuje stres.
4. **Větší bezpečnost díky aktuálním datům:** poskytuje aktuální informace v reálném čase – například o počasí nebo výstrahách pro piloty (NOTAM). Díky tomu mohou piloti rychleji reagovat na změny a rozhodovat se podle nejnovějších údajů.
5. **Snadný přístup ke všem informacím:** V EFB jsou obsaženy všechny důležité informace: mapy, manuály, výpočty výkonu i meteorologická data. Piloti tak mají vše přehledně dostupné a mohou rychleji reagovat v různých fázích letu.
6. **Lepší komunikace a spolupráce:** usnadňuje výměnu informací mezi posádkou, dispečinkem a dalšími částmi aerolinky. Některé systémy dokonce automaticky odesílají důležité informace ihned po přistání.
7. **Méně chyb díky automatizaci:** EFB umí provádět důležité výpočty – například hmotnosti, vyvážení nebo spotřeby paliva. Automatizace těchto úkolů snižuje riziko chyb a zvyšuje bezpečnost i efektivitu provozu.<sup>31</sup>

---

<sup>31</sup> International Flight Support (IFS). *7 benefits of using an Electronic Flight Bag (EFB)* [online].

Electronic Flight Bag je revoluční nástroj, který výrazně zvýšil efektivitu a bezpečnost provozu v civilním letectví. Nahrazením papírové dokumentace elektronickými systémy získávají piloti rychlejší přístup k informacím, větší flexibilitu a lepší podporu při rozhodování. Zároveň je nutné dbát na správnou správu a zabezpečení těchto zařízení, protože s jejich rostoucím významem roste i jejich zranitelnost. V dobře nastaveném provozním prostředí však EFB představuje významný pokrok v optimalizaci letového provozu a redukci lidské chybovosti.

### **3.4 Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B)**

ADS-B je moderní technologie pro sledování letadel, která představuje jeden z klíčových pilířů budoucnosti globálního řízení letového provozu. Systém ADS-B umožňuje nejen zvýšit bezpečnost a plynulost leteckého provozu, ale také zlepšit situaci v oblastech s nedostatečným pokrytím radary – například nad oceány, horami nebo řídky obydlenými oblastmi.

Jeho zásadní přínos spočívá v tom, že letadlo automaticky (Automatic), závisle (Dependent) na svých palubních systémech, vysílá (Broadcast) svou polohu, výšku, rychlost, směr a další letové parametry do okolí. Tato data mohou být přijímána řídicími středisky i ostatními letadly v okolí, čímž dochází k výraznému zvýšení situačního povědomí a efektivity řízení provozu.<sup>32</sup>

#### **3.4.1 Bezpečnostní přínos pro řízení letového provozu**

Díky vyšší přesnosti a frekvenci aktualizací umožňuje ADS-B zmenšit minimální rozestupy mezi letadly. To má za následek zvýšení kapacity vzdušného prostoru, lepší predikci konfliktů v provozu, efektivnější přesměrování při nečekaných událostech, zkrácení letových tras, a tím i snížení spotřeby paliva a emisí, navíc při výpadku jiných systémů (např. radarového pokrytí) slouží ADS-B jako důležitá záloha.<sup>33</sup>

---

<sup>32</sup> Federal Aviation Administration. Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (ADS-B) [online].

<sup>33</sup> Federal Aviation Administration. ADS-B Advanced Surveillance Enhanced Procedural Separation (ASEPS) [online].

### 3.5 Virtuální a rozšířená realita

Virtuální realita (VR) a rozšířená realita (AR) představují inovativní technologie, které si v posledních letech našly své uplatnění také v oblasti civilního letectví. Obě technologie mají potenciál výrazně zvýšit bezpečnost provozu, a to zejména v oblasti výcviku, simulace kritických situací, údržby a podpory rozhodování. Jejich síla spočívá ve schopnosti realisticky zobrazovat a simulovat prostředí, situace a scénáře, které by jinak byly těžko dostupné, nákladné nebo potenciálně nebezpečné k nácviku v reálných podmínkách.<sup>34</sup>

Díky VR mohou piloti trénovat komplexní scénáře, jako jsou selhání motoru, náhlá dekomprese, požár na palubě, silná turbulence nebo složitý přistávací manévr v extrémních podmínkách. Tyto situace by bylo velmi nákladné nebo riskantní simulovat ve skutečnosti. Virtuální výcvik navíc umožňuje pilotům procházet scénáře opakovaně, analyzovat své chyby a zlepšovat rozhodovací schopnosti.

Zatímco VR vytváří zcela virtuální prostředí, rozšířená realita (AR) pracuje s reálným světem, do kterého promítá digitální objekty, informace či navigační prvky. V praxi to znamená, že pilot, technik nebo pozemní pracovník skrze speciální brýle nebo tablet vidí reálné prostředí doplněné o navigační šipky a značky, provozní instrukce, diagnostická data v reálném čase, přehled o stavu systémů letadla.<sup>35</sup>

### 3.6 Autoland

Automatický systém přistání, známý pod zkratkou představuje jednu z nejpokročilejších funkcí moderní avioniky, jejímž hlavním cílem je zajistit bezpečné přistání letadla bez nutnosti manuálního zásahu posádky. Tento systém je navržen pro využití zejména v podmínkách nízké dohlednosti a zhoršených meteorologických podmínkách, kdy by přistání pomocí vizuálních referencí nebylo bezpečné či vůbec možné. Jeho nasazení je v praxi úzce spojeno s přiblíženími

---

<sup>34</sup> PERSINOS, John. Avionics International, Demand Accelerates for Virtual Reality Training in Avionics [online].

<sup>35</sup> GlobalData. AR and VR's role in aviation [online].

kategorií CAT II a CAT III, které definují přistávací minima na základě viditelnosti a výšky rozhodnutí dle předpisů ICAO.

Systém Autoland je výsledkem integrace několika autonomních palubních systémů, které společně zajišťují řízení letounu během finální fáze přiblížení, samotného dosednutí a případně i výběhu po přistání (*rollout*). Mezi klíčové komponenty systému patří Autopilot (AP), Autothrottle (A/T), Instrument Landing System (ILS), Radioaltimetr, Flight Control Computer (FCC).

V průběhu automatického přistání systém nepřetržitě sleduje data z navigačních a senzorických jednotek, analyzuje polohu letounu vůči přistávací dráze a průběžně upravuje trajektorii letu s cílem zajistit optimální dosednutí v rámci přesně definovaných tolerancí.<sup>36</sup>

### **3.7 Systémy monitorující fyziologický a psychický stav posádek**

Významnou kategorií moderních technologií v civilním letectví jsou rovněž systémy monitorující fyziologický a psychický stav posádek. Důvodem jejich zavedení je fakt, že fyziologický stav pilota má přímý dopad na jeho schopnost efektivně rozhodovat a reagovat v krizových situacích. Systémy založené na biometrických technologiích, jako je měření variability srdeční frekvence (HRV)<sup>37</sup>, monitorování mozkové aktivity (EEG) nebo technologie sledování očních pohybů (*eye-tracking*), poskytují v reálném čase cenné informace o aktuálním stavu pilota. V případě, že systémy zaznamenají příznaky únavy, stresu nebo snížené pozornosti, mohou okamžitě zasáhnout, například vydáním upozornění druhému pilotovi nebo aktivací specifických bezpečnostních protokolů.<sup>38</sup> Přestože tyto systémy nejsou zatím plošně nasazovány v běžném provozu, jejich testování již probíhá v rámci výzkumných projektů i v některých předních světových aeroliniích, které je vnímají jako významný krok k vyšší bezpečnosti.

---

<sup>36</sup> SKYbrary. *Autoland* [online].

<sup>37</sup> KANG, Kyoungkoo. *Revolutionizing Fatigue Measurement in Aviation: Scientific Innovations for Safety Enhancement* [online].

<sup>38</sup> Smart Eye. *The Future of Air Traffic Control Training: Leveraging Biometric Data for Performance Optimization* [online].

### 3.8 Prediktivní údržby (predictive maintenance)

Technologickým trendem, který v posledních letech zažívá dynamický rozvoj, je i využití tzv. prediktivní údržby. Tato metoda využívá pokročilých analytických nástrojů, umělé inteligence a strojového učení k predikci technických závad dříve, než se projeví v běžném provozu. Letadla jsou vybavena senzory, které průběžně monitorují klíčové technické parametry motorů, avioniky, podvozku nebo hydraulických systémů. Data z těchto senzorů jsou přenášena v reálném čase na zem, kde je specializovaný software analyzuje a vyhodnocuje. Pokud systém detekuje odchylku od normálu, technický personál je automaticky informován o nutnosti preventivní údržby. Zavedení prediktivní údržby přispělo nejen k vyšší technické spolehlivosti letadel, ale zároveň snížilo počet provozních omezení a zpoždění spojených s neočekávanými technickými problémy.<sup>3940</sup>

### 3.9 Controller-Pilot Data Link Communication – CPDLC

Rovněž je nutné zmínit významný pokrok v oblasti komunikačních technologií v letectví. Tradiční rádiová komunikace mezi letadly a pozemními stanicemi je postupně doplňována a částečně nahrazována digitální komunikací CPDLC. Tato technologie umožňuje digitální výměnu zpráv mezi řídicím letového provozu a posádkou, čímž snižuje riziko nedorozumění způsobeného šumem, nejasnou frazeologií nebo jazykovou bariérou. Digitální zprávy jsou jasně strukturované, archivovatelné a dohledatelné, což představuje další úroveň bezpečnosti a zároveň snižuje pracovní zatížení jak pilotů, tak řídicích pracovníků.<sup>41</sup>

---

<sup>39</sup> KERSTER, Matt. *Enhancing Aircraft Safety and Cost Savings with Predictive Maintenance in the Aerospace Industry* [online].

<sup>40</sup> Veryon. *How Predictive Maintenance is Revolutionizing Aircraft Reliability* [online].

<sup>41</sup> SKYbrary. *Controller Pilot Data Link Communications (CPDLC)* [online].

### 3.10 Technologie blockchain

V neposlední řadě je třeba se zmínit i o technologii blockchain, která nachází v poslední době své místo také v letectví, především v oblasti bezpečného uchovávání a sdílení dat. Blockchain umožňuje decentralizované a nezměnitelné uchovávání provozních, technických a bezpečnostních informací, což může zlepšit nejen transparentnost provozu, ale především pomoci s rychlejší identifikací problémů a jejich následnou analýzou. Tato technologie je nyní ve fázi intenzivního testování a mohla by v budoucnosti přispět k vyšší efektivitě bezpečnostního řízení a rychlejšími reakcím na mimořádné situace.<sup>42</sup>

Ačkoliv zmíněné technologie výrazně snižují pravděpodobnost vzniku chyb, jejich implementace může přinést i nová rizika, například v podobě přehnané důvěry v automatické systémy, ztráty manuálních pilotních dovedností nebo vzniku závislosti na technologii, která nemusí být stoprocentně spolehlivá. Proto je důležité, aby implementace technologií byla provázena intenzivním a pravidelným výcvikem, který piloty připraví na situace, kdy technologie selže nebo kdy je nutné rychle přejít na manuální řízení.

Celkově lze říci, že moderní technologie v letectví představují široké spektrum nástrojů a přístupů, jejichž hlavním cílem je maximalizovat bezpečnost provozu, efektivitu řízení letového provozu a minimalizovat vliv lidských chyb. Každá z těchto technologií má své specifické přínosy, ale zároveň vyžaduje důslednou implementaci, ověření v praxi a neustálé sledování efektivitu a bezpečnosti. Jen tak je možné zajistit, že zavedené technologie budou skutečně efektivní při snižování lidských chyb a posílení celkové bezpečnosti leteckého provozu.

---

<sup>42</sup> IATA. *Blockchain in aviation* [online].

### 3.11 Shrnutí významu a rozšíření moderních technologií v letectví

Technologie	Význam pro bezpečnost	Stupeň rozšíření	Komentář
<b>EGPWS</b>	Velmi vysoký	Vysoký	Standardní vybavení u všech dopravních letadel dle předpisů ICAO; zásadní při prevenci CFIT nehod.
<b>TCAS</b>	Velmi vysoký	Vysoký	Povinný pro komerční letadla nad určitou hmotnost; dramaticky snížil počet kolizí ve vzduchu.
<b>ADS-B</b>	Vysoký	Rostoucí	Povinný v některých regionech; důležitý pro situační povědomí a dohledatelnost.
<b>EFB</b>	Střední až vysoký	Vysoký	Široce rozšířený; zlepšuje přehled o letu a snižuje administrativní zátěž.
<b>Autoland</b>	Velmi vysoký	Střední	Standardní na moderních typech letadel, využívá se hlavně za nízké dohlednosti.
<b>Biometrické senzory</b>	Velmi vysoký (potenciál)	Nízký	Zásadní pro budoucí bezpečnost, zatím ve fázi testování.
<b>AR/VR</b>	Vysoký	Střední	Rostoucí význam ve výcviku; méně rozšířený v každodenní praxi.
<b>Prediktivní systémy a AI</b>	Velmi vysoký (budoucnost)	Nízký až střední	Testuje se v údržbě a analýze rizik; není masivně rozšířen.
<b>CPDLC</b>	Vysoký	Střední až vysoký	Implementováno v horním vzdušném prostoru; snižuje chyby v komunikaci.
<b>Blockchain</b>	Střední (potenciál)	Velmi nízký	Ve fázi výzkumu; v provozu téměř neuplatněn.

Tabulka 1: tabulka významu a rozšíření jednotlivých technologií

## 4 MOŽNOSTI IMPLEMENTACE POKROČILÝCH SYSTÉMŮ

Bezpečnost leteckého provozu je v současnosti jedním z nejvíce sledovaných aspektů dopravního systému. Stále vysoký podíl lidského faktoru na vzniku nehod a incidentů činí tuto problematiku extrémně důležitou z hlediska jak vědeckého výzkumu, tak i aplikované praxe. Cílem této kapitoly je nejen teoreticky zhodnotit potenciál jednotlivých technologických řešení, ale také přiblížit realistický a aplikovatelný model jejich implementace do běžné letecké praxe.

V předchozí kapitole byly představeny moderní technologie v leteckém průmyslu, které se neustále vyvíjejí a zdokonalují. V ideálním případě by budoucí letadlo mohlo integrovat kombinaci všech uvedených prvků do jednotného „ekosystému“ bezpečnostní podpory člověka. Níže jsou podrobně rozebrány jednotlivé technologie, spolu s návrhy jejich implementace do provozu, zhodnocením přínosů a rizik a návrhy mitigace nežádoucích efektů.

### 4.1 Biometrické senzory a monitoring posádky

Lidská výkonnost v kokpitu se může dynamicky měnit v závislosti na únavě, zdravotním stavu či momentální psychické zátěži. Jedním z nejnadějnějších směrů pro snížení rizika lidského selhání je zavedení biometrického monitoringu pilotů v reálném čase. Zatímco současné bezpečnostní systémy (EGPWS, TCAS aj.) neustále hlídají okolí letadla, žádný systém dosud nesleduje stav pilotů během letu. Tato mezera je kritická – například pokud pilot náhle ztratí schopnost řídit (mdloby, infarkt, mozková příhoda) nebo výrazně klesne jeho výkonnost (mikrospánek, kognitivní přetížení), závisí celý osud letu na včasném rozpoznání druhým pilotem. Biometrické senzory mohou tento proces automatizovat a urychlit detekci problému dříve, než bude pozdě.

#### 4.1.1 Návrh implementace

V opěradle pilotního sedadla by mohly být integrovány senzory pro měření srdeční frekvence a variability pulsu (HRV), dechové frekvence a hladiny okysličení krve (SpO<sub>2</sub>). Tyto údaje indikují tělesnou námahu, stres či případnou hypoxii. Dále by pilot mohl nosit chytrý náramek snímající galvanickou kožní odezvu (GSR) a tělesnou teplotu – tyto parametry se mění při stresu nebo horečnatém stavu. Kamera s infračerveným spektrem zaměřená na obličej pak sleduje

mimiku (např. frekvenci mrkání, která klesá při mikro spánku, nebo asymetrii výrazu, která může signalizovat neurologický problém). Dalším stupněm mohou být zařízení snímající pohyb očí (eye-tracking brýle) pro detekci pozornosti. Všechny tyto vstupy by vyhodnocoval pokročilý algoritmus, který by v reálném čase počítal index kognitivní zátěže a bdělosti pilota. Pokud index překročí nastavenou mez (naznačující kritické snížení výkonnosti), systém by spustil víceúrovňovou odezvu: nejprve varování pilota (zvukem či hlasovým syntetizátorem), pak upozornění druhého pilota a v krajním případě – pokud pilot nereaguje a stav se zhoršuje – i automatické převzetí řízení autopilotem s paralelním upozorněním dispečerů na zemi.

Takový biometrický dohled by dokázal odhalit například nástup hypoxie ve vysoké letové hladině (pilot by mohl postupně ztrácet úsudek vlivem nedostatku kyslíku, aniž by si to uvědomil – senzory by to zjistily z poklesu SpO<sub>2</sub> a změny srdečního rytmu a iniciovaly by rychlejší sestup do bezpečné výšky). Podobně při únavě by systém zaznamenal klesající pozornost (dlouhé intervaly bez pohybu ovladačů, klížící se oči) a mohl by nabídnout řešení – např. navést pilota k převzetí řízení druhým pilotem, případně autopilotu na několik minut a krátkému odpočinku, nebo aspoň doporučit kofein / kyslík. V krajním případě náhlé zdravotní indispozice (např. infarkt – detekovaný nepravidelným EKG a ochabnutím úchopu) by autopilot převzal kontrolu a zahájil nouzové klesání, zatímco druhý pilot by se snažil kolegu resuscitovat. Tyto scénáře dnes nejsou rutinně pokryty žádným automatickým systémem – biometrický monitoring by tedy znamenal zásadní posun v managementu krizí lidského původu.<sup>43</sup>

#### 4.1.2 Přínosy

Hlavním přínosem je rychlejší a objektivní odhalení stavu, kdy pilot není schopen bezpečně plnit úkoly. Lidský kolega si nemusí ihned všimnout, že druhý pilot pomalu reaguje či nesrozumitelně komunikuje, zvláště při vysoké zátěži svých vlastních úkolů. Strojový systém ale neúnavně sleduje fyziologické signály 24/7 a dokáže upozornit na odchylky, které by lidsky mohly být přičteny např. momentální nepozornosti. Tím se získá čas (často klíčové sekundy či minuty) pro nápravné opatření dříve, než se z drobného selhání stane katastrofa.<sup>44</sup> Biometrické senzory

---

<sup>43</sup> LINDLAR, KLENNERT a PLATH. PILOT SAFETY – SUPPORT BY BIOMEDICAL MONITORING IN PILOTS WITH HEALTH RISKS [online].

<sup>44</sup> RESTON, Rocky, Frank VASQUEZ, Beth BROKAW, Peter STASSEN, Meron GHEBREMEDHIN a Greg CHESTERTON. *Pilot Medical Monitoring: State of the Science Review on Identification of Pilot Incapacitation* [online].

mohou také zpětně vyhodnocovat pracovní zátěž – data z letů by posloužila k lepšímu plánování služeb (např. nasadit odpočinitější posádku na náročný noční let) či k personalizovanému výcviku (pilotovi, u nějž senzory často detekují stres v určitých situacích, zaměřit trénink právě na tyto situace).

### **4.1.3 Rizika**

Zásadní jsou etické aspekty a soukromí. Fyziologická data pilotů jsou citlivé osobní údaje – zavedení monitoringu vyvolává otázky, kdo k nim bude mít přístup a zda nemohou být zneužity (např. proti pilotovi v pracovně-právním sporu o způsobilost). Je třeba zajistit, aby systém nesloužil ke „špehování“, ale výhradně k bezpečnostním účelům, a aby posádka měla důvěru, že jde o pomocníka, nikoli hodnotící nástroj managementu. Dalším rizikem je falešný poplach nebo výpadek: pokud by systém nesprávně vyhodnotil, že pilot je indisponován, a převzal by řízení nebo vydal varování, mohl by způsobit chaos v kokpitu. Stejně tak neodhalení skutečného problému by bylo kritické. Technicky tedy musí jít o velmi spolehlivý systém s minimem chyb. Piloti by se rovněž mohli cítit pod tlakem či stresem z toho, že „je něco stále sleduje“, což paradoxně může jejich výkon zhoršit – je nutné řešit i psychologickou akceptaci této technologie.

### **4.1.4 Mitigace**

Z hlediska etiky a soukromí je nutné od počátku zavést transparentní pravidla: data by se mohla zapisovat na palubní zapisovač a přenášet jen v nouzi (např. při aktivaci nouzového stavu), jinak zůstanou interně v letadle. Piloti musí být seznámeni s fungováním a jasně vědět, že systém nesbírá údaje pro hodnotící komise, ale čistě pro jejich vlastní bezpečnost. Zapojení odborů a regulačních orgánů do návrhu pomůže zvýšit důvěru. Co se techniky týče, vícečetné senzory snímající různé parametry umožní křížovou validaci – systém vyhlásí poplach jen při souběžné indikaci problému z více zdrojů (např. kombinace neobvyklého tepu a absence reakce na výzvu autopilota). Algoritmy budou učené na rozsáhlých datech z testovacích letů se záměrně navozovanými stavy (únava, hypoxie u pilotů v simulátoru apod.), aby se minimalizovaly nejasnosti.

Certifikace takového systému bude přísná – podobně jako u zdravotnických přístrojů třídy životní podpory. Z praktického hlediska se nabízí postupné zavádění: nejprve pasivní monitoring (jen sběr dat bez zásahů) na zkušebních letech, poté aktivní varování posádky, a teprve po důkladném ověření eventuálně schopnost autopilota zasáhnout v extrému. Vše doplněno výcvikem posádek, aby věděly, jak na varování reagovat a kdy mohou systému důvěřovat.

## 4.2 Rozšířená realita (AR) a zlepšená situační orientace

Rozšířená realita (AR) přináší do letectví nové možnosti, jak pilotům zpřístupnit informace intuitivněji a zvýšit jejich situační povědomí. Již dnes jsou standardem HUD displeje (Head-Up Display), které promítají základní letové údaje a navádění přímo do výhledu pilota, takže nemusí sklápět zrak do přístrojů. Moderní HUD s funkcí syntetického vidění dokážou zobrazit digitální obraz terénu a dráhy i v mlze nebo v noci. Tato technologie poskytuje pilotům vizuální reference za ztížených podmínek a prokazatelně zlepšuje orientaci při přiblížení.<sup>45</sup> Rozšířená realita jde ještě dál – umožňuje překrýt skutečný výhled dalšími grafickými prvky, upozornit na rizika nebo navigační body. Například brýle s AR by mohly pilotovi zvýraznit na horizontu cílové letiště, vykreslit optimální přistávací glidu osu dráhy nebo ohraničit nebezpečné bouřkové mraky virtuálními konturami.

46



Obrázek 5: ukázka systému CVS (Combined Vision System) od Collins Aerospace

---

<sup>45</sup> SNIDERMAN, Debbie. *Seeing the Future* [online]. 2017.

<sup>46</sup> COLLINS AEROSPACE. Combined Vision System (CVS). [online].

Vývojáři také zkoumají AR indikaci v prostoru kabiny – např. zvýraznění konkrétního ovladače na přístrojové desce, který pilot v daný moment potřebuje najít (to by bylo užitečné zejména ve stresu, kdy snadno dochází k přehlédnutí důležitého přepínače). Rozšířená realita se uplatní i při výcviku a simulacích. Pomocí AR brýlí lze vytvářet interaktivní tréninkové prostředí, kde se reálná kabina letadla doplní virtuálními prvky scénáře. Například pro nácvik nouzového přistání na vodě by pilot viděl skutečný kokpit, ale z oken by AR promítala obraz oceánu a palubní přístroje by ukazovaly odpovídající údaje. Takový výcvik je imerzivnější než tradiční simulátor a může lépe připravit posádku na reálné vjemy při kritických událostech. AR také umožní kooperativní výcvik na dálku – instruktor může skrze síť vidět to, co vidí žák skrze brýle, a virtuálně mu vyznačit na přístrojové desce co má udělat, či vložit do scénáře nenadálou událost (poruchu), kterou musí žák řešit.

Další oblastí je použití AR v údržbě letadel a pozemních operacích. Technici vybavení chytrými brýlemi mohou vidět nad skutečným motorem zvýrazněné komponenty, které je potřeba zkontrolovat, či postup oprav krok za krokem. Tím se zrychlí práce a sníží riziko opomenutí (např. nezataženého šroubu nebo špatně zapojeného kabelu). Některé letecké společnosti a výrobci už tyto postupy testují v praxi.<sup>47</sup> Mezinárodní iniciativy jako SESAR (EU) a NextGen (USA) zahrnují harmonizaci těchto nových nástrojů, aby byly dostupné napříč odvětvím – cílem je, aby nejen velcí dopravci, ale i regionální aerolinky měli přístup k technologiím zvyšujícím bezpečnost.

#### **4.2.1 Přínosy**

AR dokáže odfiltrovat nepodstatné, a naopak zdůraznit klíčové – což je pro pilota v komplexním prostředí kabiny zásadní. Správně navržené AR rozhraní snižuje kognitivní zátěž: pilot intuitivněji vnímá prostorové uspořádání informace (např. vidí šipku přímo směrem k letišti místo abstraktního ukazatele na přístroji). Studie Flight Safety Foundation poukazuje, že syntetické a rozšířené vidění zlepšuje situační povědomí a pomáhá předejít nehodám typu CFIT a navigačním chybám. Při výcviku AR přináší vyšší realismus scénářů a možnost bezpečně trénovat i extrémní situace, které by byly obtížně simulovatelné (nebo příliš nebezpečné) v reálu.

---

<sup>47</sup> PLATH a Walter RICH. Transforming Aircraft Maintenance With Augmented Reality [online].

U údržby AR redukuje chyby lidského faktoru tím, že technika krokově navádí a upozorňuje na kritické úkony.

#### 4.2.2 Úskalí

Přílišná či špatně navržená AR může naopak způsobit rušení a rozptýlení. Hrozí tzv. information overload, pokud by do pilotova zorného pole bylo promítáno příliš mnoho prvků. Ergonomie AR rozhraní musí být pečlivě vyladěná – např. aby důležité varování nezaniklo mezi jinými grafickými informacemi. Technické limity jako zpoždění obrazu či omezené zorné pole brýlí mohou snižovat účinnost nebo vyvolat nedůvěru pilota. Dále je třeba myslet na zálohování: pokud by pilot spoléhal na AR a ta náhle vypadla (porucha brýlí, softwaru), musí být schopen okamžitě přejít na konvenční přístroje. Po psychologické stránce existuje riziko přejetí pozornosti – pilot by se mohl příliš fixovat na virtuální prvky a přehlédnout reálné vnější signály (např. skutečné světlo na řídicí věži).

#### 4.2.3 Mitigace

Vývoj AR systémů pro kokpit zahrnuje rozsáhlé lidsky orientované inženýrství, za účasti pilotů se testuje, kolik a jaký typ informací je optimální zobrazovat v různých fázích letu. Normy budou rozšířeny o požadavky na AR, aby se předešlo nevhodným designům. Nezbytná je též dvojitá redundance: AR by měl doplňovat, nikoli nahrazovat tradiční ukazatele. Každý virtuální ukazatel musí mít reálný ekvivalent, byť s nižší mírou detailu, aby pilot v případě pochybnosti či selhání techniky měl k dispozici klasickou informaci.<sup>48</sup> Z pohledu certifikace bude AR vybavení důkladně testováno na spolehlivost zobrazení – nesmí dojít k falešným či výpadkovým zobrazením bez okamžité indikace chyby. Pravidelný výcvik pilotů v používání AR (a nácvik přechodu zpět na standardní postupy) zajistí, že posádka technologie využije v její prospěch, nikoli ke své újmě.

---

<sup>48</sup> KIRWAN, Barry. Human Factors Requirements for Human-AI Teaming in Aviation [online]. 2025.

### 4.3 Prediktivní systémy a umělá inteligence

Umělá inteligence (AI) a strojové učení pronikají do civilního letectví v řadě oblastí – od provozní optimalizace letů až po autonomní řízení dronů. V kontextu bezpečnosti a lidského faktoru se AI uplatňuje zejména ve výstražných a rozhodovacích systémech. Moderní letadla generují obrovské objemy dat (parametry motorů, letové trajektorie, zásahy autopilota atd.), které lze pomocí AI analyticky zpracovat a prediktivně vyhodnotit. Prediktivní systémy na bázi AI dokážou v těchto datech rozpoznat vzorce nasvědčující budoucímu problému – například postupně rostoucí vibrace komponent mohou predikovat blížící se poruchu, atypické chování pilota může signalizovat únavu či dezorientaci, nebo kombinace meteorologických a provozních faktorů může zvýšit riziko incidentu při přistání. Prediktivní analytika tak umožní včasné varování ještě před vznikem kritické situace.<sup>49</sup>

Konkrétním příkladem může být prediktivní údržba: Letecké společnosti již dnes využívají pokročilé datové platformy (např. Airbus Skywise<sup>50</sup> či Boeing AnalytX<sup>51</sup>) k předpovídání poruch letadel. Senzory na palubě průběžně hlásí data do pozemních databází, kde algoritmy Machine Learning vyhodnocují odchylky od normálu a navrhuji údržbu dříve, než dojde k selhání za letu. Tím se snižuje riziko technických závad, které by musel řešit pilot v časové tísní. Podobně lze analyzovat i letová data v rámci programů FOQA (Flight Operations Quality Assurance) a pomocí AI odhalovat nebezpečné trendy v chování posádek (např. systematicky pozdní přiblížení, nedodržení stabilizovaného přiblížení apod.).<sup>52</sup> Takový systém by mohl fungovat jako prediktivní dohledový nástroj u leteckého dopravce – automaticky vyhodnocovat lety s vyšším rizikem na základě historických dat a upozornit například na potřebu dodatečného výcviku posádky nebo změny provozních postupů.

Umělá inteligence v pilotní kabině představuje další zásadní trend. Výrobci letadel i avioniky zvažují koncept „virtuálního kopilota“, který by v budoucnu mohl asistovat jedinému pilotovi při řízení dopravního letadla. Prozatím se jedná o výhledové úvahy, avšak dílčí prvky se realizují již

---

<sup>49</sup> WAQAS, Ahmed. Artificial Intelligence in Aviation: A Review of Machine Learning and Deep Learning Applications for Enhanced Safety and Security [online].

<sup>50</sup> DURGUT. Skywise: How Airbus Is Transforming Aviation Through Big Data [online].

<sup>51</sup> Boeing's AnalytX: Navigating the Skies with Big Data Analytics [online].

<sup>52</sup> KIRWAN, Barry. Human Factors Requirements for Human-AI Teaming in Aviation [online]. 2025.

nyní: například experimentální systém ATTOL od Airbusu úspěšně demonstroval plně automatický vzlet a přistání za pomoci počítačového vidění.<sup>53</sup> Představme si například poruchu motoru v odlehle oblasti: AI by mohla okamžitě zanalyzovat dostupná náhradní letiště, počasí, hmotnost letadla a další faktory a doporučit pilotovi nejvhodnější letiště pro nouzové přistání, včetně navržení trajektorie letu. Pilot zůstává konečnou autoritou, ale AI mu poskytne cenné informace a varianty, které by člověk sám tak rychle nesyntetizoval. Výzkum Eurocontrolu v této oblasti zdůrazňuje nutnost navrhnout spolupráci člověka a AI tak, aby byla zachována lidská kontrola a přehled o činnosti automatizace. EU dokonce v připravovaném aktu o umělé inteligenci požaduje, aby v bezpečnostně kritických odvětvích (včetně letectví) byla AI vždy podléhající lidskému dohledu a neohrozila principy lidské odpovědnosti.<sup>50</sup>

### 4.3.1 Přínosy

Prediktivní AI systémy mohou předcházet nehodám tím, že varují dříve, než by si člověk všiml problému. Mohou také odlehčit pilotovi v rozhodování – zejména v čase nouze – a nabídnout mu objektivní analýzu situace bez kognitivního zkreslení stresem. Simulace ukazují, že AI asistenti mohou zkrátit reakční čas při řešení složité poruchy a zvýšit pravděpodobnost správného postupu.<sup>54</sup> Tím se snižuje riziko lidské chyby z přetížení nebo opomenutí. Prediktivní údržba současně zlepšuje spolehlivost techniky, takže posádka méně často čelí neočekávaným poruchám v letu.

### 4.3.2 Úskalí a rizika

Hlavní výzvou AI v letectví je důvěryhodnost a transparentnost. Složité modely hlubokého učení mohou dávat obtížně vysvětlitelná doporučení – pilot pak nemusí chápat, proč mu „virtuální kolega“ něco radí, a může zaváhat s provedením. Pokud by AI navrhla chybný postup (např. kvůli nepředvídané situaci, na kterou nebyla natrénována), pilot musí chybě včas porozumět a zasáhnout. Rizikem je též přetížení daty – špatně navržený systém by mohl pilota zahltit zbytečnými výstrahami nebo konfliktními informacemi. V neposlední řadě vyvstávají právní

---

<sup>53</sup> Airbus. Airbus concludes ATTOL with fully autonomous flight tests [online].

<sup>54</sup> KIRWAN, Barry. Human Factors Requirements for Human-AI Teaming in Aviation [online]. 2025.

otázky: Kdo nese odpovědnost, pokud pilot uposlechne radu AI a dojde k nehodě? Jak zajistit, aby AI splňovala certifikační standardy pro letovou způsobilost? Odborníci proto zdůrazňují potřebu tzv. vysvětlitelné AI (explainable AI) a postupné validace těchto systémů v praxi.<sup>52</sup>

### 4.3.3 Mitigace

Pro zmírnění rizik je nutné, aby AI systémy procházely rozsáhlým testováním v simulovaných i reálných podmínkách a aby byly pilotům prezentovány srozumitelně. Rozhraní musí zobrazovat důvěryhodné vysvětlení, doporučení – např. „Doporučeno kvůli ztrátě tahu motoru a nejbližšímu vhodnému letišti XY“. Pilot tak pochopí logiku systému. Klíčové je ponechat člověka jako finální pojistku – AI by měla asistovat, ale rozhodující slovo má mít posádka, která může návrh odmítnout. V přechodné fázi se také uvažuje o pozemní podpoře – tj. pokud by v budoucnu létal v letounu jen jeden pilot, druhého by mohl v kritické situaci zastoupit operátor na zemi, obeznámený se stavem letu skrze datový přenos. Tím se vytvoří další vrstva kontroly.

## 4.4 Digitální dvojčata a simulace provozu

Digitální dvojče (digital twin) je virtuální replika fyzického systému, která běží paralelně s ním a je napojena na reálná data. V letectví nachází digitální dvojčata uplatnění zejména u letecké techniky – např. motorů či celých letadel. Vytvořením přesného fyzikálního modelu letadla, který se v reálném čase krmí daty ze senzorů, lze simulovat chování stroje v aktuálních podmínkách i predikovat budoucí vývoj. Pokud například senzory v křídle detekují drobné strukturální vibrace, digitální dvojče může spočítat, jak se budou vyvíjet při dalších zatíženích, a upozornit na možnost únavové trhliny – to umožní naplánovat prohlídku dříve, než by došlo k závadě v letu.<sup>55</sup> V kontextu lidského faktoru funguje digitální dvojče jako nástroj prediktivní bezpečnosti: integruje údaje o stroji, prostředí i lidských operátorech a umožňuje předem testovat „co-kdyby“ scénáře. Letecká společnost tak může například simulovat (v prostředí dvojčete), co

---

<sup>55</sup> YIU, Cho, Kam NG, Ching LEE, Chun CHOW, Tsz CHAN, Kwok LI a Ka WONG. A Digital Twin-Based Platform towards Intelligent Automation with Virtual Counterparts of Flight and Air Traffic Control Operations [online].

by se stalo, kdyby na určité lince snížila počet palubních inženýrů nebo zavedla nový typ přístroje v kokpitu – simulace může odhalit neočekávaná rizika interakce člověka se systémem.<sup>56</sup>

Digitální dvojčata se uplatní i při návrhu kokpitů a postupů. V současnosti se mnoho iterací designu ovládacích prvků a alarmů ladí na základě testů s piloty v simulátoru. S digitálním dvojčetem lze do modelu zahrnout i kognitivní model pilota (založený na datech o lidském chování) a zkoušet, jak pilot pravděpodobně zareaguje na určitou situaci – ještě, než usedne do simulátoru. Tím lze odhalit potenciální nebezpečí (např. že nově navržené varování by mohlo být zaměněno za jiné) dříve a ušetřit náklady na fyzické testy. V provozní fázi může mít každý letoun své digitální dvojče jako součást systému řízení flotily: to by neustále vyhodnocovalo aktuální stav letadla i letové podmínky a porovnávalo jej s bezpečnými limity. Pokud by se skutečný let dostal do blízkosti nebezpečné zóny (např. kombinace vysoké nálože turbulencí a únavy materiálu), dvojče by varovalo dispečery a posádku.<sup>57</sup>

#### 4.4.1 Přínosy

Digitální dvojče umožňuje proaktivní přístup k bezpečnosti. Místo reakce až na vzniklý problém se neustále dopředu propočítávají možné problémy. To významně omezuje překvapení – situace typu „tohle jsme nečekali“ se eliminují, protože byly dříve natrénovány či nasimulovány. Využití dvojčat v údržbě zvyšuje technickou spolehlivost letadel a snižuje zátěž na posádku, která se nemusí potýkat s tolika závadami za letu. V tréninku a designu zase dvojčata vedou k ergonomičtějším kokpitům a postupům odladěným na lidské schopnosti, protože designér má k dispozici simulovaný model pilota a může ladit rozhraní ještě před uživatelským testováním. V konečném důsledku to znamená méně chyb z nečekaných interakcí člověk-stroj.

---

<sup>56</sup> BISANTI, MAINETTI, MONTANARO, PATRONO a SERGI. Digital twins for aircraft maintenance and operation: A systematic literature review and an IoT-enabled modular architecture [online].

<sup>57</sup> YIU, Cho, Kam NG, Ching LEE, Chun CHOW, Tsz CHAN, Kwok LI a Ka WONG. A Digital Twin-Based Platform towards Intelligent Automation with Virtual Counterparts of Flight and Air Traffic Control Operations [online].

#### 4.4.2 Úskalí

Kvalita digitálního dvojčete stojí na kvalitě dat a modelů. Pokud fyzikální model letadla nebo lidského chování není dost přesný, může dávat falešný pocit bezpečí – predikuje, že je vše v normě, přestože reálně by došlo k selhání. U komplexních systémů je extrémně náročné model validovat pro všechny okrajové případy. Dále je tu výpočetní náročnost: reálně simulovat chování letadla v detailu materiálových napětí či chování pilota mozku v reálném čase je výpočetně intenzivní a drahé. Provozní nasazení proto musí najít kompromis mezi přesností a praktičností. Rizikem je i přesycení informacemi – dvojče může generovat spoustu predikcí a potenciálních upozornění; je třeba zabránit, aby to nevedlo k ignorování varování („false alarm effect“). Také integrace do stávajících postupů není triviální – posádka i dispečerů musí vědět, jak s výstupy pracovat.

#### 4.4.3 Mitigace

Klíčové je průběžné ověřování digitálního dvojčete reálnými daty. Modely se budou neustále kalibrovat podle skutečných událostí (metodami strojového učení) – pokud dojde k neočekávanému jevu, model se upraví, aby příště už překvapen nebyl. Certifikační orgány pravděpodobně zavedou standardy pro věrohodnost simulací v údržbě a bezpečnosti, aby se letecké společnosti mohly spolehnout na výstupy digitálních dvojčat. Provozní implementace bude zpočátku spíše modulární – dvojče bude doporučovat a indikovat, ale finální rozhodnutí nechá na lidském expertovi, dokud se neprokáže dlouhodobá spolehlivost. Po technické stránce pomáhá rozvoj cloudových platforem a vysokorychlostní komunikace: letadlo může své dvojče „hostovat“ částečně na palubě a částečně na zemi, kde je k dispozici velký výpočetní výkon. Mezinárodní sdílení dat (při respektování bezpečnosti a obchodního tajemství) například v rámci výrobců by umožnilo neustálé zlepšování modelů – každá nová zkušenost z provozu by benefity přinesla všem uživatelům dané technologie.

## 4.5 Adaptivní systémy řízení a autonomní funkce

Tradiční automatizace v letadlech má zpravidla pevně dané algoritmy a logiku – autopilot plní své úkoly podle předem definovaných scénářů. Adaptivní systémy řízení naproti tomu dokážou měnit své chování podle aktuální situace a potřeb člověka. V kontextu lidského faktoru jde zejména o koncept adaptivní automatizace: úroveň automatiky se dynamicky přizpůsobuje tak, aby pilot nebyl přetížen. To znamená, že systém může některé úkony převzít od pilota v době, kdy je zahlcen (např. během náročného přiblížení za špatného počasí může autopilot převzít udržování výšky, aby se pilot mohl soustředit na komunikaci a navigaci). Naopak v klidné fázi letu může automatizace část rutinních úkolů přenechat pilotovi, aby si udržoval pozornost a dovednosti (např. pilot ručně řídí za dobrého počasí na cestovní hladině pod dozorem automatiky).<sup>58</sup> Adaptivní systém tak funguje jako regulátor workloadu – neustále sleduje indikátory zatížení pilota (které může zjišťovat i z biometrických dat či z kontextu situace) a rozhoduje, jak moc asistovat.

Vedle toho jsou adaptivní systémy řízení schopny učit se preferencím pilota a charakteristikám letu. Například adaptivní autopilot by se mohl učit stylu konkrétního pilota (jak prudce obvykle manévruje, jak citlivě zachází s plynem) a přizpůsobit tomu své zásahy, aby automatické řízení bylo co nejplynulejší a „predikovatelné“ pro člověka. Při detekci anomální situace (např. neobvyklých turbulencí) by adaptivní systém mohl upravit kontrolní zákony letu tak, aby zvýšil stabilitu a usnadnil pilotovi práci (to už dnes částečně dělají systémy FBW – Fly-by-Wire – s režimy ochrany obálky letu, do budoucna půjde o pokročilejší úpravy).

Velmi důležitým trendem je rozvoj autonomních funkcí pro krizové situace. Příkladem je nedávno certifikovaný systém Garmin Autoland pro malá letadla, který při neschopnosti pilota plně automaticky převezme řízení a přistane na vhodném letišti stiskem jednoho tlačítka (nebo dokonce automaticky, pokud pilot nereaguje). V dopravních letadlech se uvažuje o podobném systému pro případy, kdy by oběma pilotům znemožnil výkon třeba kouř v kabině – letadlo by samo zamířilo k zemi na otevřenou trať. Adaptivita spočívá v tom, že systém rozezná stav nouze (např. nulová odezva od pilotů, abnormální parametry letu) a přepne se z asistence do plně autonomního režimu. Tím překlene výpadek lidského článku.

---

<sup>58</sup> BRAND, Yannick. Workload-adaptive and task-specific support for cockpit crews: design and evaluation of an adaptive associate system [online].

### 4.5.1 Přínosy

Adaptivní automatizace by měla zajistit, že pilot bude mít optimální pracovní zátěž – ani příliš vysokou (hrozí chyba z přetížení), ani příliš nízkou (hrozí ztráta pozornosti). To přímo cílí na lidský faktor, neboť mnoho nehod vzniklo buď při extrémním tlaku na pilota, nebo naopak vlivem letargie a následného „překvapení“. Adaptivní systém může v reálném čase vyvažovat tuto zátěž. Autonomní režimy pak představují krajní záchrannou síť, která může zabránit nejhoršímu i v situacích, kde by dříve havárie byla takřka neodvratitelná (např. náhlá pilotova indispozice v jednomístném kokpitu). To zvyšuje resilienci celého systému – schopnost zvládat neočekávané.

### 4.5.2 Rizika

Adaptivní systémy jsou složitější na predikci chování. Pilot musí přesně chápat, kdy a jak může automatika zasáhnout či ustoupit, jinak hrozí zmatení. Pokud by například systém bez jasného sdělení převzal určitou úlohu, pilot by mohl ztratit přehled, kdo co řídí (tzv. “mode confusion”). Důležité je i vyhnout se situaci, kdy by se adaptivní autopilot a pilot „prali o řízení“ – musí být jasná pravidla předání kontroly. Další riziko spočívá v nesprávném vyhodnocení pilotova stavu – pokud systém špatně odhadne, že pilot nestíhá, a přitom by ještě stíhal, může mu zbytečně odebrat činnosti a paradoxně snížit jeho angažovanost v kritický moment. Z právního pohledu je tu opět otázka odpovědnosti za rozhodnutí automatiky.

### 4.5.3 Mitigace

Nutností je uživatelská transparentnost – adaptivní systém by měl pilotovi vysvětlovat své kroky, například hlášením „Autopilot přebírá udržování výšky z důvodu vysokého pracovního vytížení“ nebo naopak „Uvolňuji řízení k ručnímu pilotování“. Tím bude pilot v obraze a může předpokládat další vývoj. Výcvik musí zahrnovat scénáře spolupráce s adaptivní automatikou, aby si posádka vybuodovala důvěru i správné návyky zásahu, pokud by automatika nepostupovala žádoucím směrem. Technicky lze zavést rozhodovací logiku „veto“ – pilot vždy může jediným úkonem (např. zmáčknutím tlačítka) adaptivní asistenci potlačit, pokud ji vnímá jako kontraproduktivní.

## 4.6 Modelový scénář: Krizová situace v roce 2035

Dopravní letoun na lince přes Atlantik v roce 2035 letí ve výšce 11 km. V kokpitu je dvojčlenná posádka využívající všechny zmíněné moderní systémy. Velící pilot (kapitán) právě odpočívá na lůžku a řízení je na prvním důstojníkovi. Ten má na hlavě lehkou senzorovou čelenku snímající EEG a na zápěstí zařízení monitorující puls a další vitální funkce. Přístrojová deska je vybavena adaptivním dotykovým displejem a rozšířeným HUD. Let probíhá hladce, automatika je ve standardním režimu a pilot pouze dohlíží na systémy. Po několika hodinách monotónního letu však začíná první důstojník pociťovat únavu; jeho pozornost klesá a dvakrát za sebou se přistihne, že zahlížel minutku do prázdna. Biometrický systém to okamžitě detekuje. Kombinace zvýšené variability tepu a zpomalených reakcí na dotek displeje způsobí, že index bdělosti klesne pod nastavenou mez.

Systém tiše zvýší úroveň asistence: adaptivní autopilot přejme některé sekundární úkoly, například začne sám předvídavě doladovat trať kvůli bočení větru, aby pilot nemusel zasahovat. Zároveň se na HUD před pilotem objeví symbol šálku kávy – nenásilná připomínka doporučující osvěžení. Pilot si promne oči a napije se, zatímco autopilot stále udržuje let. Biometrie vyhodnotí, že se stav zlepšil, a asistence se opět stáhne na běžnou úroveň. Tento mikros scénář proběhne možná několikrát během nočního letu, aniž by se cokoli dramatického přihodilo – technologie takto dynamicky řídí zátěž a udržují pilota v optimálním stavu.

Nad pevninou se však situace zkomplikuje. Letoun se blíží k cílovému letišti, když vtom náhle dochází k vážné poruše – pravý motor začíná ztrácet výkon (později se ukáže, že došlo ke skryté výrobní vadě palivového čerpadla). První důstojník okamžitě přerušuje autopilota a přebírá řízení. Alarmy začnou znít, ale adaptivní rozhraní kokpitu zasahuje: nepotřebná upozornění jsou potlačena a na hlavním displeji se zvýrazní kritické hodnoty spolu s jednoduchým textem „*Pravý motor – ztráta tahu*“. Pilot, ač vyrušen ze soustředění, rychle chápe, o čem jde. Okamžitě začne postupovat podle nouzové příručky – systém elektronické rozhodovací podpory (EDSS) mu přitom asistuje. Na přístrojích se objeví interaktivní kontrolní seznam pro výpadek motoru a EDSS hlásí: „*Doporučuji: Odpojit pravý motor, klesat na 20 000 stop, odlehčit letadlo vypuštěním paliva.*“ Pilot tato doporučení potvrzuje a provádí je. Mezitím se automaticky probudil kapitán z odpočinku a spěchá do kokpitu převzít velení.

Letadlo se nyní nachází asi 100 km od nejbližšího vhodného letiště. Kapitán na sebe bere přistávací manévr, zatímco první důstojník komunikuje s řízením provozu. Digitální dvojče letadla v palubním počítači vyhodnocuje strukturu draku po asymetrickém tahu, detekovalo zvýšené vibrace v pravém křídle, a proto radí nevyklápět klapky nad 20°, aby nedošlo k namáhání. EDSS informuje posádku: „*Nedoporučuji plnou konfiguraci klapek – riziko vibrací křídla.*“ Kapitán souhlasí a rozhoduje se přistát s menšími klapkami, což povede k vyšší rychlosti. Rozšířený HUD mu zobrazuje optimální rychlostní přístup a zvýrazňuje práh dráhy již z dálky, protože ví, že půjde o netradiční přiblížení.

Krátce před přistáním nastává další komplikace – do cesty přistávací osy se dostává bouřkový mrak s prudkým deštěm. AI asistent FOCUS v kokpitu identifikuje hrozbu tzv. startle efektu – náhlé překvapení silným podnětem. Vědom si toho, začne sledovat pohyb očí kapitána. Ve chvíli, kdy letoun vletne do hustého deště a kabinu ozáří blesk, pilot na vteřinu strne. AI asistent zaznamená, že pilot neupdatuje výšku ani nereaguje na drobné klesání pod glideslope. Okamžitě proto zvýrazní kritické přístroje – na HUD začne zeleně blikat ukazatel umělého horizontu a variometr. Kapitánův pohled je tím upoután a rychle si uvědomí odchylku – přitáhne řídicí páku a srovná letoun zpět na klesající dráhu. Biometrický systém zaznamenává extrémní stres (pilotův tep vyskočil na 150 bpm). Adaptivní automatizace proto přebírá drobné korekce boční osy, aby se kapitán mohl soustředit jen na výšku a rychlost. První důstojník mezitím sleduje, že kapitán reaguje adekvátně, a slovně ho podporuje.

Letoun nakonec dosedá tvrději a dál po dráze než obvykle, ale bezpečně. Autonomní brzdový systém se sám adaptivně postaral o maximální brzdění (vědom si vyšší rychlosti dotyku) a aktivoval automaticky obraceče tahu na zbývajícím motoru. Stroj se zastaví těsně před koncem dráhy. Posádka i cestující vyvázli bez zranění. Řídicí letového provozu poznamenal, že koordinace lidské posádky a palubní inteligence byla ukázková – situace, která by v minulosti pravděpodobně skončila tragicky, byla zvládnuta díky synergii moderních technologií a lidského úsudku.

#### **4.6.1 Analýza scénáře**

Tento fiktivní, ale technicky realistický scénář ukazuje, jak integrace více systémů vytváří hlubokou redundanci proti selhání. Biometrie předešla možnému mikrosnání. Adaptivní automatizace pomohla pilotům v nejnepříjemnějších momentech řízení. AI rozhodovací systém nabídl řešení a varoval před neviditelnými riziky (vibrace křídla). AR rozhraní a asistent FOCUS udržely pozornost pilota navzdory šoku z blesku. A konečně autonomní funkce zajistily optimální brzdění, které lidský pilot mohl v dané chvíli těžko sám exaktně dávkovat. Důležité je, že posádka stále hrála hlavní roli – technologie je podporovaly, ale nerozhodovaly za ně svévolně. Tento princip kooperace člověk–stroj odpovídá současnému konsenzu v oboru: budoucnost bezpečnosti spočívá v inteligentní spolupráci, nikoli v plném nahrazení lidské role.

Mezinárodní letecká komunita si uvědomuje, že zavádění podobných systémů musí probíhat postupně. Organizace jako ICAO, EASA, FAA a další spolupracují na výměně dat z testovacích programů, jednotné certifikaci AI a senzorů a řešení legislativních otázek (např. ochrana dat z biomonitoringu, jak již zmíněno). První nasazení některých technologií (např. automatických systémů pro případ neschopnosti posádky) lze očekávat v cargo sektoru, kde je vyšší tolerance inovací a nižší riziko pro cestující. Postupně, po získání dat o spolehlivosti, by mohly proniknout i do komerční osobní dopravy.

#### **4.6.2 Závěr modelového scénáře**

Aplikace moderních technologií v letectví slibují zásadní pokrok v omezení vlivu lidského faktoru na letecké nehody. Prediktivní algoritmy a umělá inteligence umožní předvídat problémy dříve, než se manifestují, a poskytnout posádkám informační podporu v rozhodování. Rozšířená realita a adaptivní rozhraní zajistí, že piloti budou mít vždy správné informace ve správný čas, aniž by byli přetížení. Biometrické a neuro-technologické monitorovací systémy přidají zcela novou vrstvu bezpečnosti zaměřenou přímo na lidskou kondici, čímž vyplní dosavadní mezeru.

Zavedení těchto inovací však vyžaduje akademický i praktický přístup. Akademický výzkum musí nadále zkoumat lidsko-strojovou interakci, aby nové systémy skutečně zvyšovaly bezpečnost a nevedly k neočekávaným vedlejším efektům. Současně je nutné zapojit praktické zkušenosti pilotů, instruktorů, techniků i regulátorů, aby řešení byla realistická a akceptovatelná v provozu. Mezinárodní spolupráce zajistí, že standardy budou jednotné a technologie budou moci fungovat globálně – letadlo vybavené pokročilou AI bude muset být schváleno v USA, EU i jinde obdobně.

Závěrem lze konstatovat, že moderní technologie jsou příležitostí ke skokovému zvýšení bezpečnosti letecké dopravy. Lidský faktor jako zdroj rizik nebude nikdy zcela eliminován – člověk nadále zůstane centrem leteckého systému – avšak díky inteligentním pomocníkům může být lidská práce mnohem spolehlivější, méně chybová a lépe podporovaná. Budoucnost patrně přinese model, v němž pilot vystupuje v roli koordinátora a vrchního rozhodovatele, zatímco rutinní úkony a monitorování mnoha kanálů přebírají automatizované systémy. Taková synergie maximalizuje silné stránky obou – lidské adaptability a kreativity, a strojové přesnosti a neúnavnosti. Výsledkem bude ještě bezpečnější letectví, kde kritické situace budou zvládnuty s dříve nepředstavitelnou efektivitou a kde cestující i posádky budou mít ještě větší důvěru, že každý let proběhne hladce.

## 5 STRATEGICKÉ SOUVISLOSTI ZAVÁDĚNÍ NOVÝCH TECHNOLOGIÍ

### 5.1 Kybernetická bezpečnost a technologická závislost

S rostoucí mírou automatizace a digitalizace v letectví se paralelně zvyšuje riziko kybernetických hrozeb, které mohou ohrozit integritu, dostupnost i důvěrnost kritických systémů. Zavádění systémů založených na umělé inteligenci, bezdrátové komunikaci, prediktivních algoritmech a cloudových výpočtech přináší nejen výhody, ale také novou úroveň zranitelnosti, která musí být řešena s mimořádnou důsledností.

Kybernetická bezpečnost se stává nedílnou součástí bezpečnostního managementu moderních leteckých systémů. Rizika se neomezují pouze na přímé útoky na letadla, ale zahrnují i podpůrné infrastruktury, jako jsou řídicí věže, pozemní servery, databáze, satelitní navigace či digitální přenosové sítě. Útoky typu ransomware, spoofing, jamming nebo injection do autonomních řídicích prvků mohou způsobit vážné narušení provozu nebo dokonce přímo vést k incidentům.<sup>59</sup>

Zejména systémy typu ADS-B, které nepoužívají šifrovaný přenos dat, jsou extrémně zranitelné vůči manipulaci. Zneužitím těchto slabín lze simulovat neexistující letouny, narušit letové trasy nebo způsobit falešné kolizní výstrahy. To má přímý dopad na schopnost posádek správně vyhodnotit situaci a adekvátně reagovat.<sup>60</sup>

---

<sup>59</sup> PERSINOS, John. FAA's AI-Powered Cybersecurity Research Faces the Axe—Despite Funding [online]. 2025.

<sup>60</sup> RUDYS, Saulius, Jurgis ALEKSANDRAVICIUS, Rimvydas ALEKSIEJUNAS, Andriy KONOVALTSEV, Chen ZHU a Lukasz GREDA. *Physical layer protection for ADS-B against spoofing and jamming* [online].

Pro eliminaci těchto rizik je třeba zavést několik vrstev ochrany. Patří sem zejména:

1. **Implementace systémů detekce anomálií** na bázi AI, které průběžně analyzují chování systémů a detekují odchylky od normálního provozu.
2. **Zavedení bezpečnostního hardwaru**, který odděluje kritické řídicí systémy od veřejných nebo méně bezpečných sítí.
3. **Šifrování komunikace** v rámci datalinků a zavedení kvantové distribuce klíčů pro zajištění dlouhodobé odolnosti vůči budoucím útokům.
4. **Pravidelné penetrační testy a auditní simulace**, které ověřují robustnost obranných mechanismů vůči sofistikovaným útokům.
5. **Vzdělávání posádek i pozemního personálu** v oblasti tzv. kybernetické hygieny.

Zároveň je nutné zaměřit se na fenomén technologické závislosti. S rostoucí mírou automatizace hrozí, že piloti i dispečeri budou stále méně kompetentní v manuálním řízení nebo nouzových postupech. Tento jev, známý jako „automation complacency“, zvyšuje riziko katastrofy v případě selhání systémů. Výcvikový systém proto musí obsahovat pravidelné scénáře selhání technologie a vyžadovat od posádky plnou manuální kompenzaci situace.<sup>61</sup>

Kybernetická bezpečnost nesmí být vnímána jako technická specializace vyčleněná mimo provozní procesy, ale jako základní kámen celkového řízení rizik. Stejně jako je nepředstavitelné, aby letadlo vzlétlo bez ověření mechanického stavu, musí být samozřejmostí i kontrola digitální integrity systémů.

Závěrem lze říci, že otázky kybernetické bezpečnosti a technologické závislosti musí být řešeny komplexně a systematicky. Bez dostatečně robustních obranných mechanismů a lidské připravenosti ztrácí i ta nejdokonalejší technologie svůj bezpečnostní význam.

---

<sup>61</sup> ICAO. Security and Facilitation Strategic Objective, Aviation Cybersecurity Strategy [online].

## 5.2 Etické a právní aspekty implementace autonomních systémů

Implementace autonomních systémů do leteckého provozu vyvolává řadu etických a právních otázek, které je třeba řešit souběžně s technickým rozvojem. Přestože automatizace přináší nesporné výhody v oblasti predikce chyb, reakční rychlosti a spolehlivosti, zavádí také nové oblasti odpovědnosti, autonomie a důvěry v technologii, které dosud nebyly v letectví plně uchopeny.

Eticky zásadní otázkou je redistribuce odpovědnosti mezi člověkem a strojem. V tradičním paradigmatu nese odpovědnost za rozhodnutí pilot. V autonomním nebo poloautonomním systému však může být konečné rozhodnutí učiněno algoritmem, jehož vnitřní logika je pro člověka často netransparentní (tzv. „black box problem“). Vzniká tak riziko, že v krizové situaci nebude možné jednoznačně určit, kdo nese odpovědnost za chybný zásah – zda člověk, nebo systém.

Problematickou oblastí je také etické rozhodování v kontextu tzv. dilematických scénářů. Může nastat situace, kdy systém musí zvolit mezi dvěma negativními variantami – například obětovat posádku nebo jiné letadlo při nevyhnutelné kolizi. Otázkou zůstává, jak má být etická priorita těchto rozhodnutí nastavena, kdo o ní rozhoduje a jak má být tato rozhodnutí transparentně implementována.

Dalším aspektem je důvěra veřejnosti. Cestující mají výrazně vyšší důvěru v lidské piloty než v autonomní systémy, i když objektivní bezpečnostní ukazatele často mluví ve prospěch technologií. Tento psychologický aspekt je klíčový pro úspěšné přijetí autonomních letounů, a proto by měl být začleněn do komunikačních a vzdělávacích strategií leteckých dopravců i výrobců.<sup>62</sup>

Závěrem lze konstatovat, že technologický pokrok v oblasti autonomních systémů nesmí předběhnout vývoj v oblasti etiky a práva. Pokud mají tyto technologie plně sloužit bezpečnosti a být všeobecně akceptovány, musí být implementovány v rámci komplexního rámce, který zajišťuje transparentnost, odpovědnost, důvěru a právní vymahatelnost.

---

<sup>62</sup> EASA. Artificial Intelligence Roadmap, A human-centric approach to AI in aviation [online].

## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo komplexně analyzovat problematiku lidského faktoru jakožto významného rizikového prvku v letectví a zhodnotit, jakým způsobem může využití moderních technologií přispět k minimalizaci těchto rizik. Na základě provedené analýzy teoretických konceptů, případových studií a odborné literatury bylo potvrzeno, že lidský faktor zůstává i v současnosti zásadním aspektem, který negativně ovlivňuje bezpečnost leteckého provozu.

Hlavními příčinami selhání člověka v kokpitu bývají nedostatky v komunikaci, ztráta situačního povědomí, psychická únava a stresové zatížení pilotů. Bylo prokázáno, že samotná pravidla a procedury nejsou vždy dostačující k eliminaci těchto lidských chyb. Zde se otevírá prostor pro efektivní využití technologií, jejichž cílem je nejen reagovat na vzniklé krizové situace, ale především jim aktivně předcházet.

Kapitola s možnostmi implementace pokročilých systémů představila konkrétní návrhy technologických řešení, jako jsou pokročilé prediktivní systémy založené na umělé inteligenci, využití biometrických senzorů pro neustálý monitoring fyzického a psychického stavu pilotů, implementaci systémů rozšířené reality pro posílení situačního povědomí a v neposlední řadě adaptivní automatizaci, která přizpůsobuje míru podpory aktuální pracovní zátěži posádky. Tato řešení mají potenciál nejen snížit pravděpodobnost vzniku lidských chyb, ale také výrazně urychlit reakci posádky v případě již vzniklých problémů.

Přestože výše zmíněné technologie představují slibnou cestu k výraznému snížení vlivu lidského faktoru na leteckou bezpečnost, práce rovněž upozornila na nutnost věnovat pozornost etickým, právním a kyberbezpečnostním otázkám spojeným s jejich zaváděním do běžného provozu. Je nezbytné zajistit, aby nasazení těchto technologií nezpůsobovalo další nepředvídaná rizika a aby jejich využívání bylo transparentní a akceptovatelné nejen pro odbornou veřejnost, ale především pro samotné posádky letadel.

V konečném důsledku lze konstatovat, že využití moderních technologií k minimalizaci vlivu lidského faktoru představuje důležitý krok k dosažení vyšší úrovně bezpečnosti civilního letectví. Zavádění těchto inovací musí být však realizováno citlivě a promyšleně, s respektováním současných technologických možností a limitů lidského faktoru. Pouze tak lze zajistit, aby budoucí letecký provoz nebyl nejen technologicky vyspělý, ale především bezpečnější a spolehlivější jak pro posádky, tak pro cestující.

# SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

- AIRBUS. Airbus concludes ATTOL with fully autonomous flight tests [online]. 2020. Dostupné také z: <https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2020-06-airbus-concludes-attol-with-fully-autonomous-flight-tests>
- AIRBUS. Nový simulátor A350 v Airbus Training Centre Europe. [online]. 2021 [cit. 2025-05-01]. Dostupné z: <https://aircraft.airbus.com/en/newsroom/news/2021-10-airbus-training-centre-europe-celebrates-the-certification-of-a-new-a350-full>
- BISANTI, MAINETTI, MONTANARO, PATRONO a SERGI. Digital twins for aircraft maintenance and operation: A systematic literature review and an IoT-enabled modular architecture [online]. 2023. Dostupné také z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542660523003141>
- Boeing's AnalytX: Navigating the Skies with Big Data Analytics [online]. 2023. Dostupné také z: <https://s6strategic.com/digital-strategy-1/f/boeings-analytx-navigating-the-skies-with-big-data-analytics>
- BRAND, Yannick. Workload-adaptive and task-specific support for cockpit crews: design and evaluation of an adaptive associate system [online]. 2021. Dostupné také z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42454-020-00018-8#citeas>
- COLLINS AEROSPACE. Combined Vision System (CVS). [online]. [cit. 2025-05-12]. Dostupné z: <https://www.collinsaerospace.com/what-we-do/industries/business-aviation/flight-deck/vision-systems>
- DURGUT. Skywise: How Airbus Is Transforming Aviation Through Big Data [online]. 2025. Dostupné také z: <https://www.aviationfile.com/skywise-how-airbus-is-transforming-aviation-through-big-data/>
- EASA. Artificial Intelligence Roadmap, A human-centric approach to AI in aviation [online]. 2020, 2020. Dostupné také z: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EASA-AI-Roadmap-v1.0.pdf>
- EUROCONTROL. Managing stress in ATM [online]. 2020. Dostupné také z: <https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/5628.pdf>
- Federal Aviation Administration. ADS-B Advanced Surveillance Enhanced Procedural Separation (ASEPS) [online]. 2023. Dostupné také z: [https://www.faa.gov/air\\_traffic/technology/adsb/atc](https://www.faa.gov/air_traffic/technology/adsb/atc)
- Federal Aviation Administration. Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (ADS-B) [online]. Dostupné také z: [https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/avs/offices/afx/afs/afs400/afs410](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/avs/offices/afx/afs/afs400/afs410)
- Federal Aviation Administration. Introduction to TCAS II, Version 7.1 [online]. 2011. Dostupné také z: [https://www.faa.gov/documentlibrary/media/advisory\\_circular/tcas%20ii%20v7.1%20intro%20booklet.pdf](https://www.faa.gov/documentlibrary/media/advisory_circular/tcas%20ii%20v7.1%20intro%20booklet.pdf)
- Federal Aviation Administration. Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge, Chapter 2: Aeronautical Decision-Making [online]. 2023. Dostupné také z: [https://www.faa.gov/regulations\\_policies/handbooks\\_manuals/aviation/faq-h-8083-25c.pdf](https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/faq-h-8083-25c.pdf)
- FOMINYKH, Daniil a Dmitry LEVIN. Engineering-psychological and ergonomic design of the aircraft crew workplace [online]. 2023, 2023. Dostupné také z: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2023/20/e3sconf\\_tt21c2023\\_05003.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2023/20/e3sconf_tt21c2023_05003.pdf)
- Garmin. Five Ways Garmin Autoland Offers Peace of Mind to Aircraft Pilots and Passengers [online]. 2021. Dostupné také z: <https://www.garmin.com/en-US/blog/aviation/five-ways-garmin-autoland-offers-peace-of-mind-to-aircraft-pilots-and-passengers/>
- GlobalData. AR and VR's role in aviation [online]. 2023. Dostupné také z: <https://www.airforce-technology.com/analyst-comment/ar-vr-role-aviation/?cf-view>
- ChatGPT. Jazyková a stylistická asistence: úprava textu, pravopis a stylistika. [online]. OpenAI, 2025 [cit. 2025-05-01]. Dostupné z: <https://chat.openai.com/>
- IATA. Blockchain in aviation [online]. 2018. Dostupné také z: <https://www.iata.org/contentassets/2d997082f3c84c7cba001f506edd2c2e/blockchain-in-aviation-white-paper.pdf>
- IATA. Controlled Flight Into Terrain (CFIT) [online]. Dostupné také z: <https://www.iata.org/en/programs/safety/operational-safety/controlled-flight-into-terrain/>
- IATA. Performance assessment of pilot response to Enhanced Ground Proximity Warning System (EGPWS) [online]. 2019 [cit. 2025-05-01]. Dostupné z: <https://aerospace.honeywell.com/us/en/pages/enhanced-ground-proximity-warning-system>

ICAO. *Safety Management Manual (SMM)*. Doc 9859, 3. vydání. Montreal: International Civil Aviation Organization, 2013. Str. 2-7.

ICAO. Safety Management Manual (SMM). In.: 2012, Doc 9859 AN/474.

ICAO. Security and Facilitation Strategic Objective, Aviation Cybersecurity Strategy [online]. 2019 [cit. 2025-05-01]. Dostupné z: <https://www.icao.int/aviationcybersecurity/Documents/AVIATION%20CYBERSECURITY%20STRATEGY.EN.pdf>

INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION. Safety Management System [online]. Montréal: IATA, 2024 [cit. 2025-05-01]. Dostupné z: <https://www.iata.org/en/programs/safety/safety-management-system/#tab-4>

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. Annex 6 to the Convention on International Civil Aviation – Operation of Aircraft [online]. Montréal: ICAO, 2022

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. The History of ICAO and the Chicago Convention [online]. Montréal: ICAO, [cit. 2025-05-01]. Dostupné z: <https://www.icao.int/about-icao/history/pages/default.aspx>

International Flight Support (IFS). 7 benefits of using an Electronic Flight Bag (EFB) [online]. Dostupné také z: <https://ifs.aero/efb-benefits/>

International Flight Support (IFS). What is EFB in aviation? [online]. Dostupné také z: <https://ifs.aero/what-is-efb-in-aviation/>

IVOŠEVIĆ, Jurica, Tino BUCAK a Petar ANDRAŠI. Effects of interior aircraft noise on pilot performance [online]. 2018. Dostupné také z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X17310344>

KANG, Kyoungkoo. Revolutionizing Fatigue Measurement in Aviation: Scientific Innovations for Safety Enhancement [online]. 2025. Dostupné také z: <https://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3591&context=publication>

KERSTER, Matt. Enhancing Aircraft Safety and Cost Savings with Predictive Maintenance in the Aerospace Industry [online]. 2025. Dostupné také z: <https://www.aaaairsupport.com/enhancing-aircraft-safety-and-cost-savings-with-predictive-maintenance-in-the-aerospace-industry/>

KIRWAN, Barry. Human Factors Requirements for Human-AI Teaming in Aviation [online]. 2025. Dostupné také z: <https://www.mdpi.com/2673-7590/5/2/42>

KLOUDOVÁ, Gabriela. Adaptace vojenských pilotů nadzvukových letadel na stresovou zátěž. Praha, 2014. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze.

LINDLAR, KLENNERT a PLATH. PILOT SAFETY – SUPPORT BY BIOMEDICAL MONITORING IN PILOTS WITH HEALTH RISKS [online]. 2024. Dostupné také z: [https://www.icas.org/icas\\_archive/icas2024/data/papers/icas2024\\_0460\\_paper.pdf](https://www.icas.org/icas_archive/icas2024/data/papers/icas2024_0460_paper.pdf)

PERSINOS, John. Avionics International, Demand Accelerates for Virtual Reality Training in Avionics [online]. 2024. Dostupné také z: <https://www.aviationtoday.com/2024/10/03/demand-accelerates-for-virtual-reality-training-in-avionics/>

PERSINOS, John. FAA's AI-Powered Cybersecurity Research Faces the Axe—Despite Funding [online]. 2025. Dostupné také z: <https://www.aviationtoday.com/2025/04/03/faas-ai-powered-cybersecurity-research-faces-the-axe-despite-funding/>

PilotBible. How Do Airline Pilots Train For The Unexpected In 2025? [online]. 2025. Dostupné také z: <https://pilotbible.com/how-do-airline-pilots-train-for-the-unexpected/>

RESTON, Rocky, Frank VASQUEZ, Beth BROKAW, Peter STASSEN, Meron GHEBREMEDHIN a Greg CHESTERTON. Pilot Medical Monitoring: State of the Science Review on Identification of Pilot Incapacitation [online]. 2022. Dostupné také z: [https://www.faa.gov/data\\_research/research/med\\_humanfacs/oamtechreports/media/Pilot\\_Medical\\_Monitoring\\_State\\_Science\\_Review\\_on\\_Identification\\_of\\_Pilot\\_Incapacitation.pdf#:~:text=4,Similar%20to%20cardiac%20waveforms%2C%20SpO2](https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/media/Pilot_Medical_Monitoring_State_Science_Review_on_Identification_of_Pilot_Incapacitation.pdf#:~:text=4,Similar%20to%20cardiac%20waveforms%2C%20SpO2)

RICH, Walter. Transforming Aircraft Maintenance With Augmented Reality [online]. 2025. Dostupné také z: <https://research.gatech.edu/transforming-aircraft-maintenance-augmented-reality>

RUDYS, Saulius, Jurgis ALEKSANDRAVICIUS, Rimvydas ALEKSIEJUNAS, Andriy KONOVALTSEV, Chen ZHU a Lukasz GREDA. Physical layer protection for ADS-B against spoofing and jamming [online]. 2022. Dostupné také z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1874548222000385>

SCHREIBER, Vratislav. SOUČASNÝ POHLED NA STRES A ENDOKRINNÍ ODPOVĚĎ [online]. 2004. Dostupné také z: <https://www.internimedicina.cz/pdfs/int/2004/03/02.pdf>

- SKYbrary. Controller Pilot Data Link Communications (CPDLC) [online]. Dostupné také z: <https://skybrary.aero/articles/controller-pilot-data-link-communications-cpdlc>
- SKYbrary. Crew Resource Management (CRM) [online]. SKYbrary Aviation Safety, [cit. 2025-05-01]. Dostupné z: <https://skybrary.aero/articles/crew-resource-management-crm>
- SKYbrary. Electronic Flight Bag (EFB) [online]. Dostupné také z: <https://skybrary.aero/articles/electronic-flight-bag-efb>
- SKYbrary. Key Training Topics About Managing Jet Lag (OGHFA BN) [online]. Dostupné také z: <https://skybrary.aero/articles/key-training-topics-about-managing-jet-lag-oghfa-bn>
- SKYbrary. PEAR Model [online]. Dostupné také z: <https://skybrary.aero/articles/pear-model>
- SKYbrary. Voluntary Occurrence Reporting [online]. SKYbrary Aviation Safety, [cit. 2025-05-01]. Dostupné z: <https://skybrary.aero/articles/voluntary-occurrence-reporting>
- Smart Eye. The Future of Air Traffic Control Training: Leveraging Biometric Data for Performance Optimization [online]. 2024. Dostupné také z: <https://www.smarteye.se/blog/the-future-of-air-traffic-control-training-leveraging-biometric-data-for-performance-optimization/>
- SNIDERMAN, Debbie. Seeing the Future [online]. 2017. Dostupné také z: <https://flightsafety.org/asw-article/seeing-the-future/#:~:text=Evolving%20technologies%20using%20enhanced%20and,visual%20references%20and%20situational%20awareness>
- U.S. Department of Transportation. *Human Factors Considerations in the Design and Evaluation of Flight Deck Displays and Controls – Version 2*. Cambridge, MA: Volpe National Transportation Systems Center, 2016. Str. 39. Dostupné z: [https://www.volpe.dot.gov/sites/volpe.dot.gov/files/docs/Human\\_Factors\\_Considerations\\_in\\_the\\_Design\\_and\\_Evaluation\\_of\\_Flight\\_Deck\\_Displays\\_and\\_Controls\\_V2.pdf](https://www.volpe.dot.gov/sites/volpe.dot.gov/files/docs/Human_Factors_Considerations_in_the_Design_and_Evaluation_of_Flight_Deck_Displays_and_Controls_V2.pdf)
- Veryon. How Predictive Maintenance is Revolutionizing Aircraft Reliability [online]. 2025. Dostupné také z: <https://veryon.com/blog/how-predictive-maintenance-is-revolutionizing-aircraft-reliability>
- VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ. Diagram 4 základních pilířů systému SMS. 2025. Vytvořeno autorkou v editoru.
- WAQAS, Ahmed. Artificial Intelligence in Aviation: A Review of Machine Learning and Deep Learning Applications for Enhanced Safety and Security [online]. 2025. Dostupné také z: <https://premier-science.com/wp-content/uploads/2025/02/pjai-25-725.pdf>
- WILLIAM B., Dr. Johnson a Dr. Maddox MICHAEL E. A Model to Explain Human Factors in Aviation Maintenance [online]. 2007 [cit. 2025-05-01]. Dostupné z: <https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/1482.pdf>
- YEH, Michelle, Cathy SWIDER, Young Jin JO a Colleen DONOVAN. Human Factors Considerations in the Design and Evaluation of Flight Deck Displays and Controls Version 2.0 [online]. 2016. Dostupné také z: [https://www.volpe.dot.gov/sites/volpe.dot.gov/files/docs/Human\\_Factors\\_Considerations\\_in\\_the\\_Design\\_and\\_Evaluation\\_of\\_Flight\\_Deck\\_Displays\\_and\\_Controls\\_V2.pdf](https://www.volpe.dot.gov/sites/volpe.dot.gov/files/docs/Human_Factors_Considerations_in_the_Design_and_Evaluation_of_Flight_Deck_Displays_and_Controls_V2.pdf)
- YIU, Cho, Kam NG, Ching LEE, Chun CHOW, Tsz CHAN, Kwok LI a Ka WONG. A Digital Twin-Based Platform towards Intelligent Automation with Virtual Counterparts of Flight and Air Traffic Control Operations [online]. 2021. Dostupné také z: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/22/10923>
- ZHOU, Wn-gang, Pan-pan YU, Liang-hai WU, Yu-fei CAO, Yue ZHOU a Jia-jun YUAN. Pilot turning behavior cognitive load analysis in simulated flight [online]. 2024 [cit. 2025-05-01]. Dostupné z: <https://www.frontiersin.org/journals/neuroscience/articles/10.3389/fnins.2024.1450416/full>