



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**

Zisťovanie príčin požiarov v leteckej doprave

Fire Causes Investigation in Airway Transport

Diplomová práce

Studijní program: Ochrana obyvatelstva

Studijní obor: Civilní nouzové plánování

Vedoucí práce: genmjr. Ing. Miroslav Štěpán

Bc. Dan Nejedlý

Kladno, květen 2019



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Nejedlý** Jméno: **Dan** Osobní číslo: **474900**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**
Studijní program: **Ochrana obyvatelstva**
Studijní obor: **Civilní nouzové plánování**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Zjišťování příčin požárů v letecké dopravě

Název diplomové práce anglicky:

Finding Out the Causes of Fires in Air Transport

Pokyny pro vypracování:

Cílem práce bude posouzení současného stavu v oblasti zjišťování příčin požárů v letecké dopravě s důrazem na experimentální stanovení požárně technických charakteristik vybraných interiérových materiálů používaných v letadle a jejich vliv na lidský organizmus. V teoretické části práce bude uveden současný stav zjišťování příčin požárů v letecké dopravě v ČR a v zahraničí, doplněný o statistický přehled leteckých nehod spojených s požárem letadel. Praktická část práce se bude zabývat experimentálním určením rychlosti uvolňování tepla, efektivní výhřevnosti, času zapálení a množství uvolněného dýmu na kónickém kalorimetru pro vybrané interiérové materiály v letadle prostřednictvím kónického kalorimetru. Zároveň zvedbudou popsány účinky sálavého tepla a zplodin hoření na pasažérů a posádku letadla při požáru.

Seznam doporučené literatury:

- [1] KASA, J., Toxikologické aspekty medicíny katastrof, ed. 1., Univerzita obrany v Brně, 2006, ISBN 80-85109-89-1
- [2] FILIPÍ, B., Plasty, ed. 1., Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě, 2003, ISBN 80-86634-13-2
- [3] KALOUSEK J., Základy fyzikální chemie hoření, výbuchu a hašení, ed. 1., Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství Ostravě, 1999, ISBN 80-86111-34-2
- [4] KVARČÁK, M., Základy požární ochrany, Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství Ostravě, 2005, ISBN 80-86634-76-0

Jméno a příjmení vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Miroslav Štěpán

Jméno a příjmení konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **01.10.2018**

Platnost zadání diplomové práce: **18.09.2020**


prof. MUDr. Leoš Navrátil, CSc., MBA, dr.h.c.
podpis vedoucí(ho) katedry

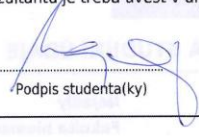

prof. MUDr. Ivan Dylevský, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student(ka) bere na vědomí, že je povinen(a) vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

2.11.2018

Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Zisťovanie príčin požiarov v leteckej doprave vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 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.

V Kladně dne 26.04.2019

.....
podpis

Poďakovanie

Ďakujem za odborné pripomienky, podnety a metodickú pomoc pri spracovaní diplomovej práce vedúcemu diplomovej práce genmjr. Ing. Miroslavovi Štěpánovi. Za odbornú pomoc, konzultácie a prístrojového vykonania praktických meraní na kónickom kalorimetri ďakujem zamestnancom MV SR PTEÚ v Bratislave.

Abstrakt

Diplomová práca sa zaoberá aktuálnymi otázkami požiarov lietadiel, požiarnym vyšetrením so zameraním na použitie plastových materiálov a vplyvov požiaru na ľudské zdravie. Právne pozadie a postupy vyšetrenia sú popísané ako platné pre nehody a incidenty lietadiel v Českej republike. Popísané sú aktuálne štatistiky a trendy globálne aj národné. Popísané sú trendy vývoja v leteckom priemysle a situácia v leteckej doprave v Českej republike. Dôraz je kladený na najbežnejšie plastové polymérne materiály polyetylén a polypropylén.

Zámerom práce je prevencia rizika požiaru v leteckej doprave, pričom hlavné rizikové faktory sú materiál a ľudský faktor. V práci sú popísané úlohy a metódy práce a pracovné hypotézy. Požiarne vlastnosti polyetylén a polypropylén boli experimentálne testované v sérii kalorimetrických testov v špecializovanom laboratóriu v Slovenskej republike. Boli použité aj bežné verzie so spomaľovačmi horenia. Množstvo skúšok súvisiacich s požiarimi lietadiel podľa normy ASTM 25.853 je uvedených v prílohe. Posledná kapitola sa zaoberá vplyvom požiarov a dymu na ľudské zdravie, indexom toxicity a preventívnym odporúčaním pre cestujúcich v lietadle.

Kľúčové slová

Zisťovanie príčin leteckých nehôd; rizikové faktory; posúdenie rizík; požiarne testy; kónický kalorimeter; materiály interiérov; splodiny horenia; preventívne opatrenia.

Abstract

The thesis deals with the actual questions of aircraft fire causes, fire investigation with focus on plastic material causes use and the impact of a fire on human health. The investigation legal background and procederes are described as applicable for aircraft accidents and incidents in Czech republic. Actual statistics and trends both global and national are described.

The trends of development in aircraft industry is described as well as the air transport situation in Czech republic. The focus was on the most common plastic polymer materials PE and PP.

The thesis'objectives and methods are described as well as the work hypothesis with focus on fire risk prevention where the main risk factors are indentified as material and human failure.

The fire properties of PE and PP were experimentaly tested in a serie of Cone Calorimetre tests in specialized laboratory in Slovak republic. Common versions with fire retardants were used as well. The number of ASTM aircraft fire related tests were introduced in appendix. The last chapter deals with the impact of fire and smoke emissions to human health, index of toxicity and the preventive reccomendation for aircraft passengers were introduced as well.

Keywords

Aircraft accdient fire causes investigation; risk factors; risk assessment; fire tests; cone calorimeter; interior materials; fire emissions; preventive steps.

Obsah

1	Úvod	10
2	Súčasný stav problematiky leteckých nehôd a zisťovania príčin.....	123
2.1	Štatistiky nehodovosti vo svete v ČR a SR	123
2.2	Riziko požiaru počas letu.....	22
2.3	Hlavné rizikové faktory požiarov lietadiel.....	25
2.4	Zisťovanie príčin požiaru pri leteckých nehodách.....	25
2.5	Materiály v leteckom priemysle vo vzťahu k požiarom	34
2.5.1	Letecké motory.....	34
2.5.2	Polyméry v interiéroch	37
2.5.3	Termoplasty a termosety	39
2.6	Účinky splodín horenia na ľudský organizmus.....	49
2.6.1	Horenie polymérov. Nedokonalé horenie	49
2.6.2	Dym ako rozhodujúci faktor úmrtia obetí požiarov.....	51
2.6.3	Vplyv emisií horenia polyetylénu a polypropylénu na ľudský organizmus	52
2.6.4	Index toxicity	55
2.6.5	Vplyv sálavého tepla	56
3	Cieľ práce a hypotézy	58
4	Metodika.....	59
5	Výsledky.....	61
5.1	Testy polymérov na kónickom kalorimetri	62
5.1.1	Prípravné úkony	62
5.1.2	Vlastné testy na kónickom kalorimetri	65
5.2	Posúdenie rizík - SWOT analýza bezpečnosti leteckej prepravy.....	73
6	Diskusia	75
6.1	Diskusia k pracovným hypotézam.....	75

6.2	Preventívne opatrenia	83
7	Záver	87
8	Zoznam použitých zkratiek.....	90
9	Zoznam použitej literatury	92
10	Zoznam použitých obrázkov	96
11	Zoznam použitých tabuliek.....	98
12	Zoznam príloh	99

1 ÚVOD

Celé odvetvie leteckej dopravy je maximálne zamerané na bezpečnosť a znižovanie rizika leteckých nehôd a vážnych incidentov, medzi ktoré patrí každý požiar a to aj v procese iniciácie. Z toho dôvodu zohráva primárnu úlohu dôraz na prevenciu leteckých nehôd. Oblasť prevencie možno rozdeliť na oblasť zameranú na ľudský faktor a na technickú oblasť. Ľudským faktorom máme na mysli najmä správanie sa človeka v kritických situáciách, čiže výcvik pilotov, posádky, poučenie cestujúcich a v neposlednom rade sa prevencia zameriava na hrozbu teroristických útokov alebo inú trestnú činnosť.

Dostupné štatistiky leteckej dopravy uvádzajú okrem všeobecne známeho faktu najvyššej bezpečnosti v porovnaní s inými druhmi dopravy, tiež prekvapivo vysoký počet pasažierov, ktorí leteckú nehodu prežijú. Šance na prežitie sú značne redukované pri požiaroch na palube lietadla. Najväčšiu šancu majú cestujúci v lietadlách, ktorým sa podarilo včas núdzovo pristáť. Núdzové pristátie je často sprevádzané požiarom uniknutého paliva. Kritická doba pre prežitie a únik z horiaceho vraku lietadla sa odhaduje na približne dve minúty. Rozhodujúci faktorom je rýchla orientácia a rýchle opustenie lietadla pred požiarom. Každý pasažier by mal vedieť kde je najbližší núdzový východ, tak aby bol schopný ho nájsť aj v zadymenom prostredí.

Všeobecné požiarne štatistiky dokazujú, že rozhodujúcim faktorom úmrtí obetí požiaru nie je uhorenie ale udusenie dymom alebo kombinácia oboch faktorov. Masívne uvoľňovanie dymu je charakteristické najmä pre iniciačnú fázu požiarov, pre tlenie a rozkurovanie materiálu sprevádzané únikom CO_x, NO_x a ďalších toxínov. Uvedený fakt je podnetom k bližšiemu skúmaniu požiaro-technických charakteristík materiálov používaných v leteckých dopravných prostriedkoch.

Predmetom diplomovej práce sú procesy zisťovania príčin požiarov, praktické požiarne skúšky dostupných materiálov s obsahom polyolefínových polymérov t.j. polypropylénu a polyetylénu používaných v interiéroch lietadiel dominantných svetových výrobcov, ktorými sú americký Boeing a európske konzorcium Airbus. Pritom totožné alebo podobné materiály používajú prakticky všetci výrobcovia lietadiel.

Základnými sledovanými fyzikálnymi indikátormi sú rýchlosť uvoľňovania tepla, ktorá je základným ukazovateľom daného materiálu resp. paliva, ďalej sme sa zamerali na efektívnu výhrevnosť, čas iniciácie t.j. doba tlenia a čas zapálenia a v neposlednom rade množstvo uvoľneného dymu. Meranie vybraných interiérových materiálov prebehlo v laboratórnych podmienkach na kónickom kalorimetri. Súčasťou merania je tiež rozbor splodín horenia, ich zloženie a pomer.

2 SÚČASNÝ STAV PROBLEMATIKY LETECKÝCH NEHÔD A ZISŤOVANIA PRÍČIN

Úvodná kapitola sa venuje svetovým a domácim štatistikám nehodovosti a štatistikám príčin požiaru počas rôznych letových fáz a detailne funkciám, kompetenciám a postupu vyšetrovania príčin leteckých nehôd (LN) a vážnych incidentov (VI).

2.1 Štatistiky nehodovosti vo svete v ČR a SR

Podľa štatistík BAAA⁽¹⁾ sa k dnešnému dňu (13. 3. 2019) vo svete udialo 25 997 nehôd, pri ktorých zahynulo 154 600 ľudí, z toho v Európe sa stalo 6127 a zahynulo 30 993 ľudí (spolu pasažierov a členov posádky, prípadne ľudí na zemi). Aktuálne posledným veľkým nešťastím bol pád Boeingu 737-MAX 8 Etiópskych aerolínií, pri ktorom 10. marca 2019 zahynulo 157 ľudí, z toho 4 občania Slovenska. Údajnou príčinou má byť zlyhanie automatického systému, ktorý po chybnom hlásení senzora tlačil lietadlo k zemi podobne ako v prípade rovnakého typu lietadla 29. októbra 2018 v Jakarte, kde pri podobných okolnostiach zahynulo 189 ľudí. ⁽¹⁾

Na území Českej republiky bolo historicky zaznamenaných 78 leteckých nehôd s 380 obeťami, na Slovensku 20 nehôd s 254 obeťami. Štatistiky BAAA zaznamenávajú nehody od prvopočiatkov leteckej prepravy, pričom prvá letecká nehoda v zozname na našom území je z 4. mája 1919. Zahynuli pri nej traja členovia posádky (všetci Taliani) a cestujúci gen. M. R. Štefánik. Dosať najhoršia nehoda sa stala taktiež pri Bratislavskom letisku 24. novembra 1966, keď po neplánovanom medzipristátí na trase Sofia-Budapešť-Praha-Berlín, lietadlo

¹ Štatistiky BAAA zaznamenávajú globálne štatistiky nehôd od roku 1918. Štatisticky zahŕňajú lietadlá pre min. 6 ľudí vrátane posádky. Nezahŕňajú nehody helikoptér, balónov, vzducholodí a bojových lietadiel.

narazilo do Malých Karpát. Zahynulo 82 ľudí. Najväčšou nehodou na území ČR bol pád lietadla Juhoslovanských aerolínií pri pristávaní v Prahe-Ruzyni 30. októbra 1975. Zahynulo 75 ľudí. Nehodu prežil jeden člen posádky a 44 cestujúcich. ⁽¹⁾

Nehody lietadiel sa nikdy nevyskytujú kvôli jednému konkrétnemu dôvodu, vždy existuje množstvo faktorov, ktoré prispievajú k havárii alebo incidentu lietadla. Príkladom môže byť únava pilota spojená so zlým počasím a technickým problémom. Ak by jeden z týchto faktorov nepôsobil, nedošlo by k havárii. V priemysle sa to nazýva „švajčiarsky syrový model“. Ak si predstavíte veľa rôznych kúskov deravého syra ementálu, všetky zoradené vedľa seba, je pravdepodobné, že nebudete schopní vidieť skrz cez diery, pretože otvory nebudú v jednej línii. Každý kúsok syra predstavuje individuálny faktor, ako je únava, zlé počasie alebo nízka úroveň výcviku. V ojedinelých prípadoch sú všetky diery zoradené za sebou, to znamená, že všetky faktory sa spoja, a spôsobia nehodu (Obrázok 1).



Obrázok 1 Efekt Švajčiarskeho syra *Unstable approach – Nestabilný prístup; Mechanical Failure – mechanické závada; Fatigue/pressure – únava/tlak; Thunderstorms–búrka; Crash-havária*⁽²⁾

Podľa firmy Boeing sa nehody percentuálne dejú v týchto fázach:⁽²⁾

- 13 % Vzlet;
- 8 % stúpanie;
- 27 % let v letovej hladine;
- 17 % klesanie na pristátie;

38 % pristátie.

Príčiny nehôd, ako bolo uvedené, sú rôzne a jedná sa o kombináciu faktorov, ktoré možno percentuálne rozdeliť takto: ⁽²⁾

55 % Chyba pilota;

17 % mechanická porucha lietadla;

13 % počasie;

8 % sabotáž;

7 % iné (Riadenie letovej prevádzky, zaobchádzanie na zemi, neznáme).

Z hľadiska zamerania diplomovej práce nás bude najviac zaujímať príčiny vzniku požiaru či už z dôvodu mechanickej poruchy, alebo z dôvodu iných situácií, ktoré povedú k vzniku požiaru na palube lietadla a to aj ľudskou chybou.

V prehľade leteckej infraštruktúry je zrejmý trend nárastu počtu malých vrtuľových lietadiel a vrtuľníkov. Postupne sa obnovuje vozový park, modernizujú sa veľké a mnohé lokálne letiská. Niektoré typy starších lietadiel boli medzičasom úplne vyradené z prevádzky (Tabuľka 1).

V rámci Českej republiky a podobne na Slovensku počtu leteckých nehôd dominujú nehody tzv. ultralightov t.j. väčšinou dvojmiestnych alebo jednomiestnych lietadiel. Počet obetí sa pohybuje od 7 (2017) do 18 (2016), pričom k nešťastiu došlo pri 6 (2017) resp. 15 (2016) nehodách so smrteľnými následkami (Tabuľka 3). Českej republike sa v ére samostatnosti vyhýbajú nehody veľkých dopravných lietadiel.

Najdôležitejšou príčinou havárie býva nesprávna reakcia pilota na technické problémy alebo nezvládnuté riadenie. Napr. panika pri požiaru uniknutého paliva môže mať fatálne následky ⁽³⁾.

Raudenský⁽³⁾ uvádza, že k úniku paliva dochádza pri tankovaní alebo pri štartovaní do okolia motora. Prvou vecou ktorú je potrebné vykonať, je zavrieť hlavný uzáver paliva. Jediné, kde môže palivo horieť, je v motorovom priestore.

Pamätajte, že nehorí palivo, ale jeho výpary. To znamená, že do uzavretej nádrže sa nám požiar nedostane. Musíme sa ale zbaviť paliva, ktoré je už z nádrží vonku. A samozrejme zamedziť jeho ďalšiemu prísunu k ohni. Horieť bude zrejme palivo, ktoré z nejakého dôvodu vytieklo okolo motora, a výpary sa vznietili od výfukov. Uzatvorením hlavného uzáveru zabránime tomu, aby bol oheň naďalej živý pritekajúcim palivom z nádrží. Tu pozor na rôzne systémy vedenia paliva tam a späť, pretože niektorí konštruktéri lietadiel (týka sa UL konštrukcií) v snahe viesť palivo k motoru, a prebytočné palivo späť a to celé zálohovať ďalším externým čerpadlom, vytvoria neuzatvárateľnú sústavu, kde aj keď hlavný uzáver je inštalovaný, tak nedokáže uzavrieť všetky hadičky, ktoré z nádrže vedú. Tzv. spiatocky palivo môžu úspešne vracieť do nádrže, ale v okamihu zastavenia čerpadla ho opäť z nádrže môže posielat späť k motoru. To je však otázka konštrukcie.

Po uzavretí paliva musí prísť ďalší úkon. Je to okamžité pridanie plného plynu, pretože karburátory, palivové filtre a vedenie sú plné paliva, ktoré nám stále môže horieť a požiar predlžovať, alebo rozširovať. Tým, že otvoríme plynové priepuste naplno, sa ale všetko palivo rýchlo spotrebuje v motore, kde nám žiadnu škodu nenarobí.⁽³⁾

V lietadlách, ktoré sú vybavené hasiacim zariadením v motore, sa hasí podľa príručky k lietadlu. Pri menších lietadlách, kde takéto zariadenie nebýva, musíme dúfať, že uzavretie paliva a jeho spotrebovanie v motore bude stačiť na uhasenie. Potom nasleduje obvyklý postup pre núdzové pristátie, aj keď dosadnutie na zem nemusí byť vždy hladké (Obrázok 2).⁽³⁾



Obrázok 2 Požiar malého lietadla po núdzovom pristátí ⁽³⁾

Obrovský psychologický efekt zanechávajú havárie veľkých dopravných lietadiel. Príčiny nešťastia sa líšia. Spravidla ide o súhru technických a ľudských chýb, ktoré vedú k nezvratnej katastrofe. Jednou z posledných zaznamenaných nehôd bola havária Boeingu 707 v Iráne, 14. januára 2019, ktorý havaroval pred pristátím neďaleko Teheránu. Prežil jediný člen posádky, 15 ľudí zahynulo. Išlo o nákladné lietadlo (Obrázok 3). Blízkosť rodinných domov, ktoré boli haváriou zasiahnuté pripomína leteckú tragédiu v Škótskom Lokerbee.



Obrázok 3 Havária po núdzovom pristátí Boeingu 707 v Iráne, 14. 1. 2019 ⁽⁴⁾

V porovnaní s ostatnými typmi dopráv je letecká doprava v ČR okrajovou záležitosťou, najmä pri pohľade na tabuľku leteckej infraštruktúry (Tabuľka 1). Avšak vzhľadom na počet prepravných výkonov v podobe počtu odbavených cestujúcich a nalietaných kilometrov sa približuje letecká doprava k doprave železničnej.⁽⁵⁾ Jedným z dôležitým faktorom využívania leteckej prepravy, okrem atraktívnej ceny je aj pomerne nízka ekologická záťaž, ktorá je v porovnaní s individuálnou osobnou dopravou alebo nákladnou automobilovou dopravou veľmi nízka.

Tabuľka 1 Infraštruktúra leteckej dopravy ČR⁽⁵⁾

	2010	2013	2014	2015	2016	2017
Letiská spolu	91	91	91	91	91	91
Medzinárodné verejné	7	6	6	6	6	6
Verejné vnútroštátne	57	59	58	59	59	59
Neverejné Medzinárodné	6	5	3	3	3	3
Neverejné vnútroštátne	12	14	14	13	13	13
Verejné vnútroštátne a súčasne neverejné medzinárodné	9	7	10	10	10	10
Lietadlá nad 9000 kg spolu	79	69	70	60	68	65
Nákladné	4	4	4	1	1	0
Osobné	75	65	66	59	67	65
Menej ako 50 sedadiel	21	24	28	22	23	21
51 - 150 sedadiel	20	19	15	14	16	16
151 - 250 sedadiel	34	22	23	23	28	28
vek do 4 rokov	23	16	13	10	11	5
5-9 rokov	21	28	35	28	35	26
10-14 rokov	9	12	12	18	13	23
15-19 rokov	14	4	0	1	9	11
nad 20 rokov	12	9	10	6	3	4
Vrtuľníky	4	4	4	4	4	4
Lietadlá do 9000 kg	964	1091	1094	1132	1169	1210
Prúdové	16	22	19	25	29	32
Turbovrtuľové	56	66	64	65	67	66
Vrtuľové	790	857	872	893	919	953
Vrtuľníky	102	131	139	149	154	159

Medzinárodné letecké asociácie kladú dôraz na znižovanie spotreby paliva a tým aj na redukcii emisií skleníkových plynov, najmä dominantných NO_x. Toto úsilie priamo súvisí so snahou vyvinúť nové ľahšie materiály. Zníženie hmotnosti sa zákonite prejavuje na spotrebe, ktorá je pri vzlete enormná.

Prioritnou naďalej zostáva otázka bezpečnosti lietadiel a to aj pri sústavnom tlaku komerčných spoločností na znižovanie nákladov. Vývoj leteckej dopravy z hľadiska nehodovosti je jednoznačne pozitívny. Na jednej strane každoročne stúpajú prepravné výkony, rozvíjajú sa kapacity letísk, na druhej strane počty fatálnych nehôd dlhodobo klesajú (Obrázok 5) a s nimi aj absolútne počty obetí leteckých havárií (Obrázok 6). V prepočte na počet cestujúcich je letecká preprava najbezpečnejším spôsobom prepravy spolu s prepravou po železnici. Pri prepočte na osobo/kilometre dominuje letecká preprava aj nad prepravou železničnou.

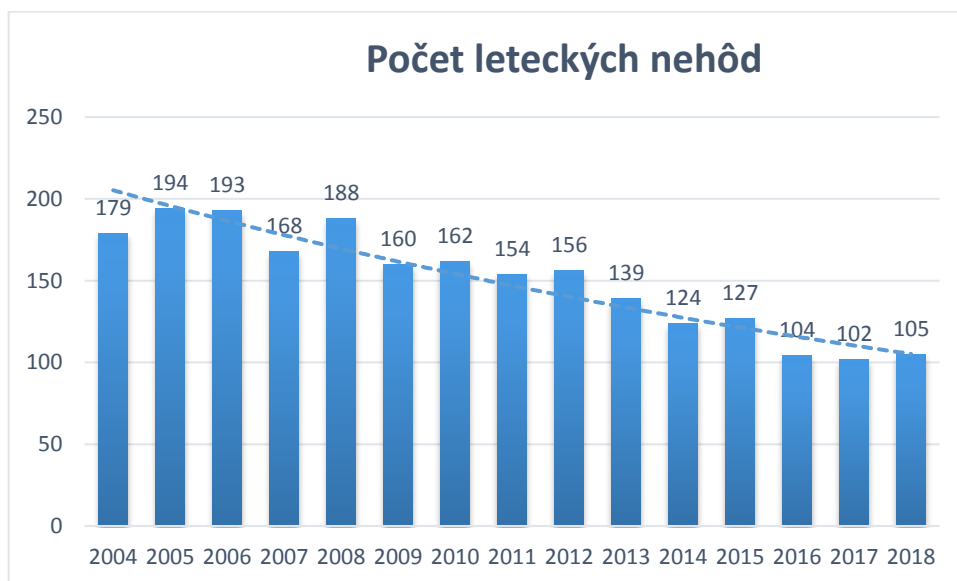
Tabuľka 2 Prepravné výkony v leteckej doprave ČR⁽⁵⁾

	2010	2013	2014	2015	2016	2017
Preprava cestujúcich (mil.)	7,5	6,2	5,6	5,4	6,0	6,7
Prepravný výkon (mil. oskm)	10 902,0	9 603,9	9 756,6	9 701,0	10 202,6	11 326,1
Odbavení cestujúci na významných letiskách (mil.)	12,4	12,8	11,9	12,0	12,2	13,0
Preprava nákladu medzinárodne (t)	65 620	58 147	58 312	58 445	77 704	89 279
Preprava nákladu vnútroštátne	1 063	836	314	112	83	74

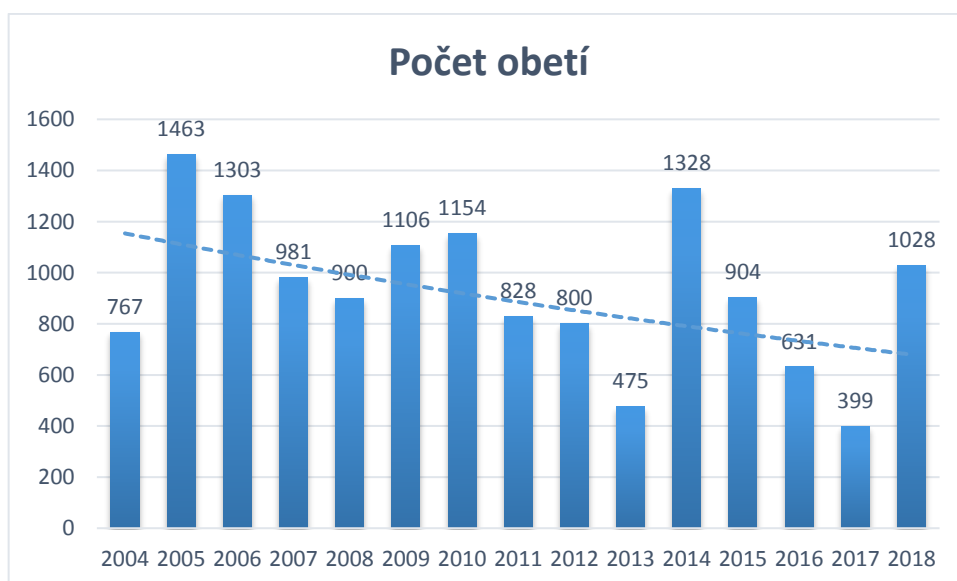
Tabuľka 3 Nehody v civilnom letectve ČR⁽⁵⁾

	2010	2013	2014	2015	2016	2017	Spolu
Počet nehôd vo všeobecnom letectve	88	81	91	78	77	91	418
Nehody s fatálnymi následkami	6	9	9	8	15	6	47
Počet usmrtených osôb	9	9	11	8	18	7	53

Počet tragických dopravných nehôd v leteckej preprava klesol za posledných 20 rokov o polovicu. Celosvetovo sa počet leteckých nehôd dopravných lietadiel s viac ako 25 pasažiermi dostal tesne nad 100 (Obrázok 7). Počet obetí však minulý rok stúpol na trojnásobok oproti predošlému roku (Obrázok 8). Samozrejme, že podstatné je koľko cestujúcich je na palube havarovaného lietadla. Dlhodobo však aj tento ukazovateľ klesá. V roku 2017 sa dostal na úroveň 399 obetí, čo je zatiaľ najmenej v histórii letectva.



Obrázok 4 Vývoj počtu leteckých nehôd globálne ⁽¹⁾



Obrázok 5 Vývoj počtu obetí leteckých nehôd globálne ⁽¹⁾

Existujú dva hlavné faktory úmrtia cestujúcich alebo posádky lietadiel pri leteckom nešťastí. Prvým je prudký náraz, ktorý má devastačné účinky na ľudské telo, orgány, chrbticu atď. Tu je pravdepodobnosť prežitia daná umením a možnosťami pilota pri núdzovom pristátí. Pokiaľ však dôjde k explózií vo vzduchu, šance na prežitie sú nulové.

Druhým faktorom je požiar a jeho účinky. Zámerne neuvádzame slovné spojenie intenzita požiaru, pretože aj malý požiar môže mať fatálne následky. Splodiny nedokonalého horenia môžu usmrtiť viac ľudí ako intenzívny požiar.

Tabuľka 4 Najhoršie letecké katastrofy podľa BAAA⁽¹⁾

	Dátum	Miesto	Letecká spoločnosť	Počet osôb na palube/prežili		Požiar
				Posádka	Cestujúci	A/N
1.	12. 8. 1985	Yokota, JAP	Japan airlines	15/1	509/3	A
2.	3. 3. 1974	Paríž, FRA	Turkish airlines	12/0	334/0	A
3.	27. 5. 1977	Tenerife, Kanár.o.	Panam	16/7	380/54	A
4.	23. 6. 1985	Atlantický oceán	Air India	22/0	307/0	A
5.	12. 11. 1996	Dillí, India	Saudi Arabian Airlines	23/0	289/0	A
6.	19. 8. 1980	Rijad,Saud. A.	Saudi Arabian Airlines	14/0	287/0	A
7.	17. 7. 2014	Šacht'arsk, UKR	Malaysia Airlines	15/0	283/0	A
8.	3. 7. 1988	Perzský záliv	Iran Air	16/0	274/0	A
9.	25. 5. 1979	Chicago, USA	American Airlines	13/0	258/0	A
10.	19. 2. 2003	Kerman, Irán	Iran Air Force	18/0	257/0	A
11.	21. 12. 1988	Lockerbie, VB	Panam	16/0	243/0	A
12.	1. 9. 1983	Rusko	Korean Air	23/0	246/0	A
13.	26. 4. 1994	Nagoja, JAP	China Airlines	15/0	256/7	A
14.	12. 11. 2001	New York, USA	American Airlines	9/3	251/0	A

V zozname pätnástich najväčších leteckých katastrof sa nachádzajú prípady, keď časť posádky a cestujúcich prežili. Príkladom takejto katastrofy je havária Boeingu 747-100 spoločnosti Panam pri rolovaní z dráhy letiska v Santa Cruz de Tenerife na Kanárskych ostrovoch, 27. 5. 1977. Nehodu prežilo 7 z 16 členov posádky a 54 z 380 cestujúcich, teda 44% členov posádky a 14% cestujúcich (Tabuľka 4). Archívne zábery ukazujú obhorené trosky lietadla z miesta nešťastia (Obrázok 6). Ide o tretie najhoršie letecké nešťastie v dejinách. Prežiť sa podarilo tiež 4 ľuďom z najväčšej leteckej katastrofy v Japonskej Yokote, kde zahynulo 506 cestujúcich a 14 členov posádky (Tabuľka 4).

V jednom z uvedených prípadov išlo o teroristický útok, keď nad Škótskym Lockerbie vybuchlo lietadlo pomocou časovanej bomby. V tomto prípade ešte pribudli obeť na zemi v rodinných domoch na ktoré dopadli trosky lietadla. Jedna z veľkých nehôd bola spojená s obdobím studenej vojny, keď lietadlo Korean Air bolo zostrelené nad územím Sovietskeho zväzu (Tabuľka 4).



Obrázok 6 Boeing 747 po havárii pri vzlete zo Santa Cruz de Tenerife ⁽¹⁾

Tabuľka 4 tiež obsahuje údaj o požiari na palube. Vo všetkých prípadoch lietadlo zhorelo v dôsledku požiaru spojeného s nárazom na zem a únikom paliva, alebo ešte v letovej fáze.

Pre letecké nešťastia resp. konkrétne pre havárie lietadiel je charakteristický požiar leteckého paliva, ktoré sa po náraze vznieti a to aj v prípade núdzového pristátia mimo letiska. Z toho vyplýva, že v prípade leteckej havárie museli preživší prežiť jednak náraz lietadla na zem resp. vodnú hladinu a uniknúť následnému požiaru prípadne explózii paliva.

Príčinou leteckých nešťastí je podľa konkrétnych vyšetrovacích správ vždy kombinácia nepriaznivých okolností technických a ľudských zlyhaní. Iniciačnou príčinou je v asi 50 % prípadoch chyba pilota, ďalšou hlavnou príčinou je mechanická porucha 20 %, na treťom mieste je nepriaznivé počasie 10 %, ďalej sabotáž a na piatom mieste sú ďalšie formy zlyhania ľudského faktora.⁽⁶⁾

2.2 Riziko požiaru počas letu

Riziko je definované ako strata stability dejov a procesov prebiehajúcich v spoločenských, technických a technologických, ako aj v prírodných systémoch a následný vznik krízových javov. Sú závislé na zmene vonkajších a vnútorných podmienok, v ktorých sa uskutočňujú a konkrétnom riziku, ktoré nebolo dostatočne znížené, prípadne eliminované.⁽³⁰⁾

Oheň vo vzduchu je jednou z najnebezpečnejších situácií, ktorej môže byť letová posádka vystavená. Bez razantného zásahu posádky môže požiar na palube lietadla viesť ku katastrofickej strate lietadla vo veľmi krátkom čase. Akonáhle je požiar rozvinutý, je nepravdepodobné, že ho posádka dokáže uhasiť. Od prvého náznaku, že na palube lietadla je požiar, má posádka v priemere približne 17 minút, aby sa lietadlo dostalo na zem.⁽⁷⁾

Požiar motora je normálne detekovaný a uspokojivo zachytený systémami detekcie a potlačenia požiaru lietadla. Avšak za určitých okolností (napríklad pri rozbití turbíny), je povaha ohňa taká, že palubné systémy nemusia byť schopné zadržať oheň a môžu sa šíriť na krídlo a trup. Tam, kde bol požiar motora úspešne zadržaný, stále existuje riziko, že sa požiar môže znovu rozrásť, a preto sa odporúča, aby posádka pristála čo najskôr a umožnila hasičským zborom vykonať vizuálnu kontrolu motora.

Požiar kabíny. Požiar v kabíne bude zvyčajne zistený včas a posádka ho bude likvidovať pomocou palubného hasiaceho zariadenia. Rovnako ako pri požiaru motora, je vždy optimálne s lietadlom čo najskôr pristáť a vykonať podrobné preskúmanie príčiny požiaru a akéhokoľvek poškodenia.

Skrytý požiar môže byť zistený palubnými systémami detekcie požiaru alebo posádkou alebo cestujúcimi, ktorí si všimnú dym alebo výpary, horúce miesto na stene alebo na podlahe, alebo nezvyčajnými elektrickými poruchami, najmä keď systémy vzájomne nesúvisia. Toto je najnebezpečnejší druh požiaru z dvoch dôvodov. Skryté požiare je ťažké nájsť a eliminovať. Časové oneskorenie môže umožniť vznik požiaru a spôsobiť značné poškodenie lietadla. Výskyt skrytého ohňa môže byť spočiatku ťažké potvrdiť a posádka môže iniciovať núdzové pristátie príliš neskoro. Dôsledkom takéhoto omeškania môže byť fatálne rozšírenie požiaru bez možnosti bezpečného pristátia lietadla.

Dym môže znížiť viditeľnosť v lietadle. Elektrický požiar v lietadle typicky generuje veľa hustého bieleho dymu, ktorý môže spôsobiť, že posádka je oslepená, neschopná vidieť prístroje alebo vidieť von z okien. Za takýchto okolností, ak sa dym nedá odstrániť, posádka nie je schopná kontrolovať lietadlo. Dym a výpary z požiaru počas letu budú pravdepodobne vysoko toxické

a dráždivé pre oči a dýchacie cesty. Dym a výpary preto môžu posádku rýchlo znefunkčniť, pokiaľ okamžite neprijmú ochranné opatrenia.

Teplo z požiarov ovplyvní systémy lietadiel a v konečnom dôsledku ovplyvní konštrukčnú celistvosť lietadla, čo povedie k strate kontroly nad strojom. Príručky pre posádky lietadla o.i. obsahujú radu okamžite iniciovať núdzové pristátie.

2.3 Hlavné rizikové faktory požiarov lietadiel

Celkovo za hlavnú príčinu leteckých nehôd možno označiť zlyhanie pilota, na druhom mieste je technická porucha a na ďalšom počasie. Najčastejšie však ide o sled viacerých faktorov. Veľakrát vznikne technický problém a následná nesprávna reakcia vedie k nešťastiu. Podľa dostupných vyšetrovacích správ sa jedná vždy o reťazec udalostí, kde sa striedajú zlyhania pilotov s technickými problémami. Výsledkom je letecká katastrofa (efekt švajčiarskeho syra), pričom požiar je často hlavnou príčinou LN. Požiar počas letu môže vzniknúť z týchto príčin:⁽⁸⁾

Poškodenie elektrického zariadenia a elektrických vodičov:

- Nesprávne vybraný materiál alebo jeho starnutie.
- Nesprávna manipulácia alebo nedostatočná údržba zariadenia (pravidelná kontrola).
- Zlá kvalita pripravených bezpečnostných mechanizmov a pripojení.
- Chyby návrhu konštrukcie (nedostatok riadnej ventilácie, umiestnenie zariadení na nesprávnych miestach).
- Vplyv environmentálnych podmienok (vystavenie atmosférickým podmienkam - mrazu a vlhkosti).
- Nedostatok alebo porucha bezpečnostných systémov (meranie izolačného odporu, poistky atď.).

- Ľudská chyba pri údržbe alebo konštrukcii (nedbanlivosť servisnej práce atď.)

Poškodenie mechanického zariadenia⁽⁸⁾

- Nesprávne zvolený materiál alebo jeho starnutie.
- Extrémne podmienky prevádzky zariadenia (prehriatie alebo mechanické preťaženie).
- Nedostatok alebo porucha bezpečnostných zariadení.
- Zlá kvalita pripravených bezpečnostných mechanizmov, spojov alebo materiálov.
- Únik paliva alebo pracovných kvapalín (rozmrazovacia kvapalina).
- Ľudská chyba (nesprávne použitie nástrojov alebo strojov, nedbanlivosť údržbárskych prác, nedodržanie bezpečnostných pravidiel).

Spontánne vznietenie materiálu (v nákladných priestoroch, kontajneroch, nádobách atď.)

- Nebezpečné látky reagujúce na zmenu tlaku a teploty v batožinovom priestore.
- Elektrolytická reakcia lítiových batérií.

Vonkajšie faktory⁽⁸⁾

- Atmosférické podmienky (búrka, elektrické výboje).
- Nedostatočná kontrola na letiskách.
- Teroristický útok (časovaná nálož), sabotáž.

2.4 Zisťovanie príčin požiaru pri leteckých nehodách

Podľa platnej legislatívy ČR je jediným cieľom odborného zisťovania príčin LN a incidentov stanovenie účinných preventívnych opatrení. Účelom takéhoto procesu nie je posudzovať vinu alebo zodpovednosť za zavinenie.

Hlavným zmyslom vyšetrovania príčin LN je prijatie preventívnych opatrení. Medzinárodná legislatíva v tejto oblasti je zastrešená počnúc prvou medzinárodnou zmluvou o civilnom letectve *Úmluva o mezinárodnom civilnom letectve (Chicagská úmluva)* záväzná pre ČSR od 1. marca 1947 zákonom 147/1947 resp. jej prílohou 13 z roku 1951.

Na úrovni EU sa problematiky vyšetrovania príčin LN týka: ⁽⁹⁾

- Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EU) č. 996/2010 o vyšetrowaní a prevencii nehôd a incidentov v civilnom letectve.
- Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EU) č. 376/2014 o hlásení udalostí v civilnom letectve, analýze týchto hlásení a nadväzujúcich opatreniach.
- Vykonávacie nariadenie komisie (EU) 2015/1018 (udalosti podliehajúce povinnému systému hlásenia podľa nariadenia číslo 376/2014).
- Rozhodnutie komisie (ES) o prístupových právach k centrálnej evidencii bezpečnostných doporčení z dňa 5. 12. 2012.
- Príloha I k Nariadeniu Európskeho parlamentu a Rady (EU) č. 2018/1139 - Anexované lietadlá

Legislatíva ČR (v originálnom znení)

- Zákon č. 49/1997 Sb., o civilním letectví

Dokumenty ČR (v originálnom znení)

- Předpis o odborném zjišťování příčin leteckých nehod a incidentů L13⁽⁹⁾
- Dohoda o součinnosti mezi ÚZPLN, Policejním presidiem ČR a Nejvyšším státním zastupitelstvím
- Dohoda o vzájemné koordinaci a výkonu činností v oblasti civilního letectví
- Dohoda o vzájemné spolupráci mezi MV GŘ HZS a ÚZPLN
- Dohoda o spolupráci při zajišťování služby pátrání a záchrany letadlům a sportovním leteckým zařízením.

- Dohoda o spolupráci mezi ÚZPLN a Řízením letového provozu České republiky s.p.
- Metodická směrnice pro šetření leteckých nehod⁽⁹⁾

Letecká nehoda⁽⁹⁾ je udalost' spojená s prevádzkou lietadla, ktorá sa, v prípade pilotovaného lietadla, stala medzi dobou, kedy akákoľvek osoba nastúpila do lietadla s úmyslom vykonať let a dobou, kedy všetky takéto osoby z lietadla vystúpili, alebo ktorá sa, v prípade bezpilotného lietadla, stala medzi dobou, kedy lietadlo je pripravené na pohyb na účely letu a dobou, kedy zastaví po skončení letu a hlavná pohonná sústava je vypnutá, a pri ktorej:

a) niektorá osoba bola smrteľne alebo vážne zranená následkom: prítomnosti v lietadle, alebo priameho kontaktu s akoukoľvek časťou lietadla vrátane častí, ktoré sa od lietadla oddelili, alebo priamym pôsobením prúdu plynov (vytvorených lietadlom), s výnimkou prípadov, keď k zraneniu došlo prirodzeným spôsobom, alebo spôsobila ak si ich osoba sama alebo bolo spôsobené druhou osobou, alebo ak išlo o čierneho pasažiera ukrývajúceho sa v priestoroch normálne pre cestujúcich a posádku; alebo

b) lietadlo bolo zničené, alebo poškodené tak, že poškodenie: nepriaznivo ovplyvnilo pevnosť konštrukcie, výkonnej alebo letovej charakteristiky lietadla, a vyžiada si väčšiu opravu alebo výmenu postihnutých častí, s výnimkou poruchy alebo poruchy motora, ak toto poškodenie je obmedzené len na jeden motor (vrátane jeho príslušenstva alebo motorových krytov); vrtuľou (rotorových listov), okrajových častí krídel, antén, snímačov, lopatiek, pneumatík, bŕzd, podvozku, aerodynamických krytov, palubnej dosky, krytov pristávacieho zariadenia, čelných skiel, poľahu lietadla (ako sú malé vrypy alebo prerazení) alebo nevýznamná poškodenia listov hlavného rotora, listov chvostového rotora, pristávacieho zariadenia a tých poškodenia, ktoré sú

zapríčinená krupobitím alebo zrážkou s vtákom (vrátane poškodenia krytu radarovej antény na lietadle); alebo

c) lietadlo je nezvestné, alebo je na úplne neprístupnom mieste

Vážny incident je definovaný rovnako, od LN sa líši vážnosťou následkov.

Medzi VI vždy patrí:

- požiar a / alebo dym v pilotnom priestore, priestore pre cestujúcich, v nákladových priestoroch alebo požiar motora, aj keď bol tento požiar uhasený hasiacimi prostriedkami;
- udalosť, pri ktorej posádka musí núdzovo použiť kyslík;

Incident ⁽⁹⁾ je udalosť iná ako letecká nehoda, súvisiaca s prevádzkou lietadla, ktorá ovplyvňuje alebo by mohla ovplyvniť bezpečnosť prevádzky. Ide o chybnú činnosť osôb alebo nesprávnu činnosť leteckých a pozemných zariadení v leteckej prevádzke, jeho riadenie a zabezpečovania, ktorej dôsledky však spravidla nevyžadujú predčasné ukončenie letu alebo vykonávanie neštandardných (núdzových) postupov. Incidenty v letovej prevádzke sa rozdeľujú podľa príčin na: a) letové, b) technické, c) v riadenia letovej prevádzky d) v zabezpečovacej technike e) iné. Medzi príčiny incidentov sa zahrňajú aj nepredvídané prírodné javy (výboje statickej elektriny, strety s vtákmi a pod.), Ak neohrozili bezpečnosť letu do tej miery, že boli hodnotené ako vážny incident alebo letecká nehoda.

Z metodologickej smernice L13 pre prípravu a organizáciu zisťovania príčin LN a I v civilnom letectve je potrebné zdôrazniť tieto ustanovenia:

Účel odborného zisťovania príčin ⁽⁹⁾

Hlavným účelom odborného zisťovania príčin je prevencia budúcich nehôd a incidentov bez určovali vinníkov alebo zodpovednosti. Zahŕňa zhromaždenie a analýzu informácií vzťahujúcich sa na LN alebo I, spracovanie

záverov vrátane stanovenia príčiny alebo faktorov, ktoré k nim prispievajú, a prípadne vypracovanie bezpečnostných odporúčaní.

Ústav zisťuje príčiny LN a I podľa:

- a) priamo použiteľného predpisu Európskej únie upravujúceho vyšetrowanie nehôd a incidentov v civilnom letectve,
- b) únijných predpisov vydaných na vykonanie sekundárnych právnych predpisov Európskej únie,
- c) zákona č. 49/1997 Zb. o civilnom letectve,
- d) leteckého predpisu L 13,
- e) predpisov, ktoré sú vydané Európskou organizáciou pre bezpečnosť leteckej prevádzky EUROCONTROL

Medzi dôležité úlohy patrí najmä zabezpečiť: ⁽⁹⁾

- a) Nezávislosť, nestrannosť a transparentnosť zhromažďovania a analýzy informácií a vypracovanie záverov vrátane stanovenia príčin alebo faktorov, ktoré k nim prispievajú, aby sa predišlo konfliktu záujmov a akémukoľvek vonkajšiemu zásahu do určovania príčin vyšetrowaných udalostí,
- b) primeranú rovnováhu medzi prínosom šetrenie pre bezpečnosť civilného letectva alebo iný verejný záujem a vynaloženými nákladmi,
- c) ochranu informácií pred neoprávneným použitím alebo zverejnením,
- d) koordináciu vyšetrowania a vyšetrowania príslušnými orgánmi činnými v trestnom alebo správnom konaní v súlade s platnými právnymi predpismi,
- e) spoluprácu orgánov pre vyšetrowanie členských štátov EÚ/ICAO,
- f) vypracovanie bezpečnostných odporúčaní na predchádzanie leteckých nehôd,

g) na účely výkonnosti letových navigačných služieb analýzu činnosti pozemné a palubné časti systému Air Traffic Management (ATM) vzhľadom na kľúčové ukazovatele výkonnosti,

h) zaznamenanie údajov v národnej databáze (ECCAIRS) a ich sprístupnenie príslušným orgánom pre vyšetrowanie členských štátov Európskej únie a Európskej komisii prostredníctvom centrálnej evidencie udalostí.

Zásady stanovenie spôsobu odborného zisťovania príčin (šetrenie Ústavom)

Stanovenie spôsobu a rozsahu odborného zisťovania príčin sa vykonáva podľa druhu LN alebo I, spravidla po zhodnotení prvotných informácií. Ak v dôsledku veľkého rozsahu LN nastane potreba, uplatní sa postup pri veľkej leteckej nehode a zodpovedajúce opatrenia vrátane otázok súvisiacich s vyžiadanim pomoci.

Ústav môže ďalej stanoviť že:

- a) povedie odborné zisťovanie príčin bez nutnosti vyžiadania spoluúčasti iných zložiek a pomôcť, alebo
- b) neurčí komisiu a zhromažďovanie, analýzu informácií o incidente, určenie príčin a vypracovanie záverov vykoná určený zodpovedný inšpektor, alebo
- c) oznámi požiadavku, aby vyšetrowanie uskutočnila príslušná poverená právnická osoba v súlade s poverením.

Postup pri veľkej LN⁽⁹⁾

Tento postup sa uplatňuje vždy u leteckej nehody lietadla s maximálnou vzletovou hmotnosťou nad 5700 kg alebo ak to považuje Ústav za nevyhnutné vzhľadom na závažnosť a k verejnemu záujmu.

Ústav vymenuje predsedu komisie a postupuje podľa metodiky, ktorú stanoví vnútorný predpis v súlade s ICAO Doc 9756 - Manual of Aircraft Accident and

Incident Investigation. Ústav zaistí vytvorenie komisie za účasti prizvaných špecialistov, splnomocnených predstaviteľov, ich poradcov a pozorovateľov.

Ústav je bezodkladne po ohlásení LN povinný najmä:

- a) vykonať opatrenia, ktoré sú potrebné na okamžité vyslanie inšpektorov na miesto leteckej nehody;
- b) zabezpečiť potrebné kroky k tomu, aby sa v rámci komisie Ústave vytvorili príslušné podkomisie a začali činnosť;
- c) rozhodnúť o prizvaní špecialistov alebo subjekty iných krajín poskytovať odbornú spoluprácu alebo prístroje, zariadenia a vybavenie;
- d) na mieste leteckej nehody zostaviť plán zabezpečenia úkonov komisie Ústavu pre zhromaždenie dôkazov, ktoré neznosú odklad, a zistení všetkých rozhodných okolností dôležitých pre ďalší postup komisie.

Postup pri LN malého lietadla

Tento postup sa použije pri menej závažných udalostiach u lietadla, ktorého maximálna vzletová hmotnosť bola do 5700 kg. 3.2 Ústav po ohlásení LN:

- a) vymenuje predsedu komisie a postupuje podľa metodiky, ktorú stanoví vnútorný predpis;
- b) zabezpečí, aby na mieste LN boli inšpektormi vykonané všetky úkony, ktoré nepripúšťajú odklad. O počte inšpektorov v komisii rozhoduje riaditeľ Ústavu. V prípade nutnosti Ústav rozhodne o prizvaní príslušných splnomocnených predstaviteľov.

Postup pri VI

Ústav pri organizácii a vedení odborného zisťovania príčin vážneho incidentu musí zaistiť dostatočnú úroveň zhromaždenia a analýzy všetkých potrebných údajov, ktoré sú nevyhnutné s cieľom určenia príčin vážneho incidentu,

popřípade odhalenie systémových príčin, spolupôsobiacich okolností a nedostatkov vyžadujúcich prijatie opatrení na ich odstránenie.

Ústav, s ohľadom na povahu a okolnosti vážneho incidentu:

- a) vymenuje predsedu komisie;
- b) zabezpečí, aby boli vykonané všetky úkony, ktoré nepripúšťajú odklad;
- c) vykoná odborné zisťovanie príčin vážneho incidentu v súlade s metodikou, ktorú stanovuje vnútorný predpis.

Postup vyšetrovania LN

Ústav ihneď po oznámení udalosti menuje Predsedu komisie, inšpektorov a vykoná potrebné opatrenia na okamžité začatie odborného zisťovania príčin LN. Predseda komisie má neobmedzený prístup k troskám a všetkým príslušným materiálom vrátane letových zapisovačov a záznamov služieb riadenia letov a neobmedzenú kontrolu nad nimi, aby bez zdržania zaistil ich podrobné preskúmanie kvalifikovanými odborníkmi zúčastnenými na odbornom zisťovaní príčin. Pri odbornom zisťovaní príčin LN alebo I musia byť efektívne využité letové zapisovače. Ústav musí bezodkladne zabezpečiť vyhodnotenie záznamov.⁽⁹⁾

Ústav, pri vedení odborného zisťovaní príčin LN, pri ktorej došlo k smrteľným zraneniam, musí zabezpečiť včasné a kompletne obhliadky obetí z radu členov posádky, podľa okolností aj cestujúcich a obsluhujúceho personálu lekármi patológmi, skúsenými z odborného zisťovaní príčin LN. Ústav musí zväžiť potrebu koordinácie so súdnymi orgánmi. Zvláštna pozornosť sa venuje dôkazom, ktoré vyžadujú rýchly záznam.

Záverečná správa zisťovania príčin LN alebo I obsahuje:⁽⁹⁾

- a) Úvod

- b) Informatívny prehľad
- c) Faktické informácie:
 - Priebeh letu
 - Zranenie osôb
 - Poškodenie lietadla
 - Ostatné škody
 - Informácie o osobách
 - Informácie o lietadle
 - Meteo situácia
 - Radionavigačné a vizuálne prostriedky
 - Spojovacie služba
 - Informácie o letisku
 - Letové zapisovače a iné záznamové prostriedky
 - Popis miesta nehody a trosiek
 - Lekárske a patologické nálezy
 - Požiar
 - Pátranie a záchrana
 - Testy a výskum
 - Informácie o prevádzkových organizáciách
 - Doplnkové informácie
 - Spôsoby odborného zisťovania príčin
- d) Rozbory
- e) Závery
- f) Bezpečnostné odporúčania
- g) Prílohy

V prípade nutnosti hasičského zásahu sa na základe zmluvy o súčinnosti MV GŘ HZS a ÚZPLN vykonajú požiarné práce tak, aby nedochádzalo

k neprimeranému poškodeniu dôkazov. Pre účely súčinnosti so zasahujúcimi jednotkami môže byť menovaný splnomocnenec ÚZPLN.

2.5 Materiály v leteckom priemysle vo vzťahu k požiarom

Kompozitné materiály sú pre letecký priemysel čoraz významnejšie. Ich použitie znižuje celkovú hmotnosť lietadiel a zvyšuje účinnosť paliva. Zároveň sú jednoducho manipulovateľné, ľahko sa navrhujú, tvarujú a opravujú. Vyrábajú sa z nich ľahké konštrukčné diely alebo komponenty kabín, používajú sa v membránach trupov a krídel, v motoroch a podvozkoch.

Vo funkcii matric pre kompozitné materiály sa používajú nielen polymérne, ale aj kovové, keramické a uhlíkové matrice. V závislosti od typu matrice sa preto kompozity rozdeľujú na kovové kompozity, keramické kompozity, uhlíkové kompozity a polymérne kompozity. Z kovových kompozitov sú najrozšírenejšie kompozity na báze ľahkých kovov (hliníka), titánu a superzliatin. Z keramických sú to kompozity na báze oxidových, karbidových anitridových matric, sklokeramické kompozity na báze oxidov Si, Al, Ca, B, Mg, Li.

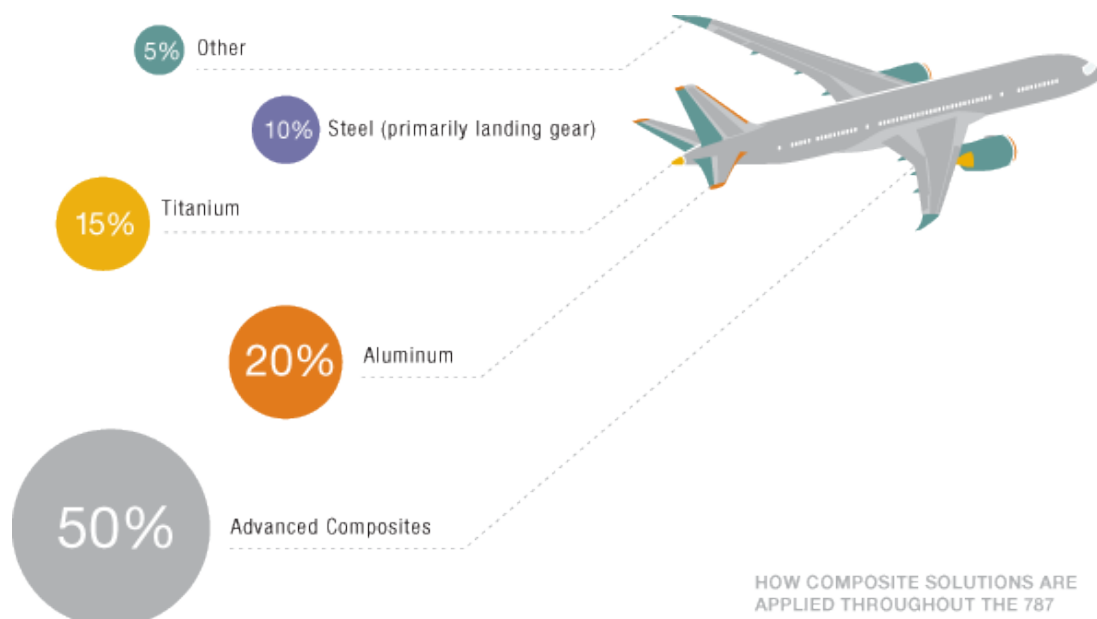
Dôležitou výhodou použitia kompozitných komponentov je vytváranie do zložitých tvarov, ktoré by pri kovových materiáloch nebolo možné bez obrábania a vytvárania spojov. Predpripravené kompozitné komponenty nie sú len ľahké a silné, ale tiež umožňujú redukovat počet ťažkých spojovacích prvkov a spojov, ktoré sú potenciálne poruchovými v lietadle. Ďalším globálnym trendom je znižovanie celkového počtu súčiastok. Kompozitné súčiastky sú dodávané v pospájaných celkoch ako jeden kus, čím celkovo uľahčujú montáž.

2.5.1 Letecké motory

Jednou z častých príčin leteckých nehôd je výpadok motora a niekedy aj všetkých motorov. Letectvo a kozmonautika je jedinečná medzi ostatnými

priemyselnými výrobnými odvetviami, a to platí najmä pre výrobu leteckých motorov. Motor je najkomplexnejším prvkom lietadla, obsahuje najrôznejšie komponenty a nakoniec určuje palivovú účinnosť. Nástup motorov s nízkou húževnatosťou s teplotnými potenciálmi až do 2100 °C pomohol zvýšiť dopyt po týchto nových materiáloch. Vzhľadom na to, že bod topenia súčasných superzliatin je okolo 1850 °C, problémom je nájdenie materiálov, ktoré odolávajú extrémnym teplotám. Na splnenie týchto požiadaviek na teplotu sa do škály materiálov dostávajú tepelne odolné superzliatiny vrátane zliatin titánu, zliatiny niklu a niektoré nekovové kompozitné materiály, ako je keramika. Tieto materiály majú tendenciu byť ťažšie spracovateľné ako tradičný hliník, historicky predstavujú kratšiu životnosť a menšiu bezpečnosť procesu opracovania.⁽¹⁰⁾ Existuje tiež vysoké riziko pri procese obrábania leteckých súčiastok. Tolerancie v letectve sú prísnejšie než v akomkoľvek inom priemyselnom odvetví. Táto úroveň presnosti trvá určitý čas. Taktiež v porovnaní s inými odvetviami objednávky leteckých komponentov pozostávajú z malých sérií s dlhými lehotami dodania, čo sťažuje plánovanie produktivity, výkonnosti a ziskovosti.

Výroba dopravných lietadiel je z hľadiska použitia materiálov komplexnou záležitosťou. Konštrukcia novších lietadiel akým je Boeing 787 Dreamline využíva väčší podiel kompozitných materiálov. Tým sa znížili prevádzkové náklady na údržbu trupu lietadla až o 30 %. Oceľ sa používa primárne na kolesách lietadiel. Celkový podiel ocele klesol na 10 %. Titán je v modernom lietadle zastúpený 15%-ným podielom, hliník 20 % (Obrázok 7). Z materiálového hľadiska najvyšší podiel majú kompozitné materiály.⁽¹¹⁾



Obrázok 7 Podiel materiálov v Boeingu 787-8 Dreamliner ⁽¹¹⁾

Pred štyridsiatimi rokmi dominoval v leteckom priemysle hliník. Ako vtedy nový progresívny materiál, bol ľahký, lacný a moderný. Až 70 % lietadla bolo vyrobené z hliníka. Používali sa aj iné nové materiály, ako sú kompozity a zliatiny, vrátane titánu, grafitu a skleneného vlákna, ale iba vo veľmi malých množstvách 3 – 7 %. Ľahko dostupný hliník bol používaný všade od trupu k hlavným komponentom motora.

Dnešný typický moderný prúdový motor obsahuje len 20 % čistého hliníka. Väčšina tzv. nekritických konštrukčných materiálov ako obloženie a interiéry sa teraz skladajú z ľahších materiálov vystužených uhlíkovými vláknami (CFRP) a voštinových kompozitných materiálov. Súčasne je vyvíjaný tlak na nižšiu hmotnosť a vyššiu tepelnú odolnosť súčiastok motora s cieľom dosiahnuť tiež nižšiu spotrebu paliva. Vyvíjajú sa testujú nové materiály, zliatiny, kompozity, čím sa rozširuje portfólio používaných materiálov v leteckom priemysle.

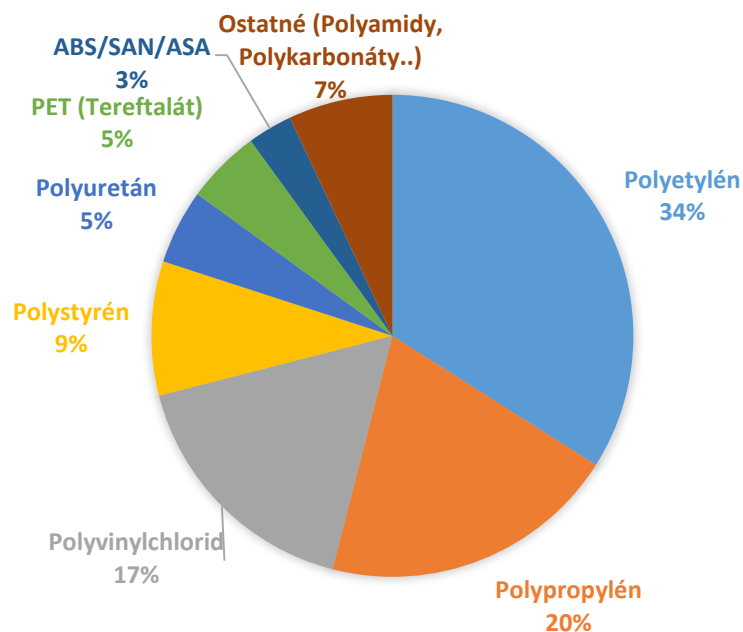
Aluminid titaničitý (TiAl) a hliník-lítium (Al-Li), ktorý sa používal už v sedemdesiatych rokoch minulého storočia, sa začal masívnejšie využívať až na prelome storočí. ⁽¹⁰⁾

TiAl si zachováva pevnosť a odolnosť voči korózii pri teplotách až 600 °C podobne ako zliatiny niklu. Avšak TiAl je ľahšie opracovateľný podobne ako alfa-beta titán typu Ti6Al4V. Čo je možno ešte dôležitejšie je, že TiAl má potenciál zlepšiť pomer ťahu k hmotnosti v leteckých motoroch, pretože dosahuje iba polovičnú hmotnosť v porovnaní s niklovými zliatinami. Napríklad, obe nízkotlakové lopatky turbín a vysokotlakové lopatky kompresora, tradične vyrobené z hutných superzliatin na báze Niklu, sú teraz zhotovené zo zliatin na báze TiAl. Genera Electric vyvinul nízkotlakové turbínové lopatky na báze TiAl na svojom motore GEnx, ktorý sa vo veľkom používa v komerčnom tryskovom motore Boeingu 787 Dreamliner.

Titán 5553 (Ti-5553) je ďalší kov, ktorý je vhodný pre letecký priemysel. Vykazuje vysokú pevnosť, nízku hmotnosť a dobrú odolnosť proti korózii. Zliatiny titánu sú ideálne pre hlavné konštrukčné komponenty, ktoré musia byť silnejšie a ľahšie ako predtým používané zliatiny z nerezovej ocele. Niektoré konštrukčné diely, ako sú spojovacie prvky, podvozky a pohony, vyžadujú vysokú pevnosť, pričom hmotnostné vlastnosti sú menej prioritné. V takýchto prípadoch zliatina Carpenter Technology Ferrium S53 predstavuje mechanické vlastnosti rovnaké alebo lepšie ako konvenčné ocele s vysokou pevnosťou, ako je napr. 300M a SAE 4340, pričom výhodou S53 je celková odolnosť voči korózii. Z toho dôvodu nie je potrebná aplikácia ochrannej vrstvy kadmia a následné opracovanie.⁽¹⁰⁾

2.5.2 Polyméry v interiéroch

Svetová produkcia plastov resp. polymérov dosiahla v roku 2015 úroveň 321 mil. ton (PTEU, 2017), pričom 54 % tvorí produkcia polyetylénu a polypropylénu, ďalších 17 % patrí produkcii polyvinylchloridu. Tieto tri materiály spolu s polystyrénom zaberajú 80 % produkcie všetkých polymérov (Obrázok 8) ⁽¹²⁾.



Obrázok 8 Produkcia polymérov globálne za rok 2015 ⁽¹²⁾

Polyesterové vlákna sú syntetické vlákna, ktoré sa získavajú z lineárnych polymérov vznikajúcich esterifikáciou predovšetkým aromatických dikarbonových kyselín s glykolmi. Ako polyesterové vlákna sa označujú len tie, ktoré sa skladajú najmenej z 85 esterov obsahujúcich dvojmocný alkohol glykol) a kyselinu tereftálovú. ⁽¹³⁾

Polyesterové vlákna majú veľkú odolnosť proti oderu (v porovnaní s vlnou 15 krát väčšiu), malú navíhavosť, ktorá však spôsobuje, že sa nabíjajú statickou elektrinou. Negatívne účinky elektrostatického náboja pri spriadaní sa odstraňujú chemickou preparáciou povrchu vlákien a použitím avivážnych prostriedkov. Mikroorganizmy a hmyz ich nenapádajú. K ďalším vlastnostiam polyesterových vlákien patrí vysoká pevnosť, rozťažnosť a elasticita. Niektoré negatívne vlastnosti sa dajú zmierniť modifikáciou vlákien. Je to pomerne široké chemické obmieňanie polyetyléntereftalátu tak, ako to vyžaduje výroba chemických vlákien a účel ich použitia na textilné výrobky. Chemickou modifikáciou polyetyléntereftalátu sa nahrádza kyselina tereftálová inou kyselinou a dvoma karboxylovými skupinami. ⁽¹³⁾

Polyesterové vlákna majú všestranné použitie. Vo forme striže sa stali kvalitným materiálom pre plášťové, oblekové a šatové tkaniny. Často sa používajú v zmesiach s inými vláknami ako je bavlna, viskóza a iné. Z polyesterového hodvábu, ktoré je nekrčivé a príjemné na hmat sa vyrábajú letné šatovky, tyly, satény, mušelíny a pod. ⁽¹³⁾

Polypropylénové vlákna sú na báze propylénu a vyrábajú sa najčastejšie z taveniny. Polymerizáciou za pôsobenia špeciálnych katalyzátorov vznikne z neho granulovaný polypropylén. Ten sa potom spriada z taveniny ako vlákno. Polypropylénové vlákna majú dobrú pevnosť, odolnosť proti oderu, nízku hustotu, pružnosť pri teplote asi 150 °C mäknú a pri 160-170 °C sa tavia. Sú odolné voči mikroorganizmom a hmyzu. K nevýhodám patrí ľahká zapáliteľnosť. Polypropylénové vlákna majú rozsiahle použitie v prikrývkach, dekoračných tkaninách, pracovných odevov, filtračných tkanín. Často sa používajú v zmesi s inými vláknami. ⁽¹³⁾

2.5.3 Termoplasty a termosety

Termosetové plasty obsahujú polyméry, ktoré sa pri procese vytvrdzovania navzájom zosieťujú a vytvárajú ireverzibilnú chemickú väzbu. Proces zosieťovania eliminuje riziko pretavovania výrobku pri aplikácii tepla, čo robí termosety ideálne pre vysoko tepelné aplikácie, ako sú elektronika a spotrebiče. Termosetové plasty sa zvyčajne spracovávajú reakčným vstrekom, obsahujú polyméry, ktoré sa spolu spoja počas vytvrdzovania a vytvárajú trvalú chemickú väzbu. Tento proces vytvára v týchto materiáloch slabé väzby medzi monomérnymi reťazcami a eliminuje riziko pretavovania produktu pri aplikácii tepla, čo robí termosety ideálne pre vysoko tepelné aplikácie, ako sú spotrebiče a elektronika. Termosetové plasty značne zlepšujú mechanické vlastnosti materiálu a poskytujú zvýšenú chemickú odolnosť, tepelnú odolnosť a celistvosť konštrukcie. Termosetové plasty sa často používajú na zapečatené výrobky

vďaka svojej odolnosti voči deformácii a patria tak medzi najodolnejšie plasty. Do skupiny termosetových plastových polymérov patria najmä epoxidy, fenoly, silikóny a polyestery. ⁽¹³⁾

Proces vytvrdzovania termoplastov

Granule z termoplastov pri zahrievaní zmäknú a pri dodatočnom ohreve sú tekuté. Proces vytvrdzovania je úplne reverzibilný, pretože nedochádza k žiadnemu chemickému spojeniu. Táto vlastnosť umožňuje, aby boli termoplasty opracované a recyklované bez negatívnych vplyvov na fyzikálne vlastnosti materiálu. Existuje celý rad termoplastických živíc, ktoré ponúkajú rôzne výhody, ale väčšina materiálov zvyčajne ponúka vysokú pevnosť, odolnosť proti zrážaniu a ľahkú flexibilitu. V závislosti od živice môžu termoplasty slúžiť ako aplikácie s nízkym napätím, ako sú plastové vrecká alebo mechanické časti s vysokým napätím. Príklady termoplastických polymérov zahŕňajú polyetylén, PVC a nylon. ⁽¹³⁾

Vlastnosti a výhody

Termosetové plasty výrazne zlepšujú mechanické vlastnosti materiálu, čím zvyšujú chemickú odolnosť, tepelnú odolnosť a celistvosť konštrukcie. Termosetové plasty sa často používajú na zapečatené výrobky vďaka ich odolnosti voči deformácii. Termoplastické kompozity majú výhodu v porovnaní s termosetovými kompozitmi kvôli ich rýchlemu spracovaniu v aplikáciách s vysokým objemom. Zároveň majú vysokú trvanlivosť a pevnosť. Celkové porovnanie je uvedené v Tabuľke 5.

Tabuľka 5 Porovnanie kladov a záporov použitia termosetov a termoplastov ⁽¹⁴⁾

Termosety	Termoplasty
+	+
<ul style="list-style-type: none"> • odolnejšie voči vysokým teplotám • vysoko flexibilný dizajn • hrubé až tenké steny • vynikajúci estetický vzhľad • vysoká miera rozmerovej stability • rentabilita 	<ul style="list-style-type: none"> • vysoko recyklovateľné • esteticky vynikajúce povrchové úpravy • vysoká odolnosť proti nárazu • možnosť preznačovania, pretvárania • chemicky odolné • tvrdé kryštalické alebo gumové povrchové možnosti • ekologická výroba
-	-
<ul style="list-style-type: none"> • náročné na povrchovú úpravu • nemožno recyklovať 	<ul style="list-style-type: none"> • všeobecne drahšie ako termosety • pri zahriatí sa môže roztaviť

CFRP predstavujú najväčší podiel medzi kompozitnými materiálmi v kabíne a funkčných komponentoch. Voštinové materiály predstavujú odolné a ľahké vnútorné konštrukčné komponenty. Materiály budúcej generácie obsahujú kompozitné materiály keramickej matrice (CMC), ktoré sa objavujú v praktickom použití po desaťročiach testovania.

CMC pozostávajú z keramickej matrice vystuženej žiaruvzdorným vláknom a z vlákna karbidu kremíka (SiC). Vyznačuje sa nízkou hustotou, hmotnosťou, vysokou tvrdosťou a čo je najdôležitejšie, vynikajúcou tepelnou a chemickou odolnosťou. Podobne ako CFRP, aj CMC môžu byť tvarované na určité tvary bez akéhokoľvek ďalšieho obrábania (Obrázok 9), čo je ideálne pre vnútorné

komponenty leteckého motora, výfukové systémy a iné "horúce" zóny. Nahradzujú tiež hore uvedené super odolné kovové zliatiny.⁽¹⁰⁾



Obrázok 9 Ucelené súčiastky z kompozitných materiálov⁽¹⁰⁾

Materiály použité v lietadle sú podobné bez ohľadu na leteckú spoločnosť alebo typ lietadla, pretože všetky plavidlá prepravujúce cestujúcich musia spĺňať požiadavky na horľavosť uvedené na bočnom paneli (str. kľúčové kompozitné časti zahŕňajú ventilačné potrubie a výplne - termoplastické alebo vystužené termosetové tvary okolo okien, dverí a bočných stien kabíny - ktoré vyžadujú tvarovanie.

Sendvičové panely

Zďaleka najväčšími kompozitnými aplikáciami sú sendvičové panely vyrobené s voštinovým jadrom a termosetovými živcami, ktoré sa používajú na podlahové krytiny, stropy, kuchynské steny, toalety a vložky pre nákladné priestory. Lhké jadro s nízkou hustotou medzi tenkými čelnými listami výrazne zvyšuje tuhosť panelu s malou pridanou hmotnosťou. Jadro funguje ako spojovacia sieť I-lúča, ktorá oddeľuje tvárové listy v rovnomernej vzdialenosti, zatiaľ čo samotné kože fungujú ako príruby lúča; tuhosť v ohybe dosky je úmerná hrúbke jadra. Sendvičové panely sú nákladovo efektívne, pretože jadrový materiál je lacnejší a váži menej ako kožený kompozit a môže byť vytvrdený alebo spracovaný s kožou v jednorazovej operácii.⁽¹⁰⁾

Typický interiérový sendvičový panel sa skladá z voštinového jadra Nomex vyrobeného z aramidového vlákňitého poľahu dodávaného spoločnosťou Dupont Advanced Fibers Systems s hrúbkou približne 13 mm a veľkosťou buniek 3 mm. Zvyčajne je jadro tvárnené jednou alebo dvomi vrstvami sklo-fenolu pre väčšinu stropov a stien a sklo-epoxid alebo uhlík-epoxid pre podlahové panely, ktoré vyžadujú vyššiu pevnosť v ťahu.

Ploché panely, zvyčajne 4 m² (1,2 m x 2,4 m), sa zvyčajne spracovávajú lisovaním plochým lisom, v ktorom sa spodný kožený predimpregnovaný výrobok, jadro a horný predimpregnovaný prípravok skladujú na vyhrievanú oceľovú dosku. Druhá vyhrievaná plášťová doska v hydraulickom lise sa spustí na roztopenie a laminát sa udržiava pod tlakom v rozsahu od 30 minút do viac ako 100 minút. Zvyčajne je lis "narazený" alebo ľahko otvorený počas procesu, aby sa uvoľnili plyn a vodná para, vedľajšie produkty fenolovej kondenzačnej reakcie, potom sa opäť zatvorili na dokončenie cyklu vytvrdzovania. Linky s vysokou rýchlosťou používajú viacotvorové lisy (MOP) s piatimi alebo viacerými otvormi na formovanie. Tlak sa pohybuje od 3,4 bar až 6,8 barov. Vytvrdzovanie fenolovej živice prebieha rýchlejšie s rastúcou teplotou, takže je potrebná forma s vysokou teplotou, ktorá je minimálne 160 °C. ⁽¹³⁾

Stlačenie jadra je rýchlejší a úspornejší proces, ktorý sa uskutočňuje pri vyššej teplote a tlaku, pri ktorom sa vrstvený laminát umiestni do veľkého lisu a stlačí sa na vopred stanovenú hrúbku. Proces, ktorý praktizujú hlavne Boeing a Airbus a ich najväčší dodávatelia interiérov. ⁽¹³⁾

Tier I sa najčastejšie používa na výrobu zakrivených bočných panelov a dosiahnutie tvarov, ako sú skosené priehlbiny okolo okien lietadiel. Tlaky do 5 bar spôsobia, že steny plástových buniek sa prehĺbia a sploštia a vytvoria tak lepšiu plochu lepenia pre tenké predimpregnované poľahy. Metóda vytvára

dosky s konzistentnou hrúbkou, ktoré zaisťujú dobré osadenie a dokončenie počas inštalácie. Doby spracovania materiálu sú rádovo 8 až 12 minút, čo vedie k veľmi efektívnej výrobe. Na vytvorenie potrebného tlaku sú potrebné veľké lisy spolu s vyhrievanými kovovými formami a vysoké objemy výroby sú potrebné na ospravedlnenie kapitálových nákladov. ⁽¹⁴⁾

Zložité tvary, ako napríklad batožinové kontajnery, môžu byť vyrobené z plochých lisovaných panelov s jednoduchými metódami rezania a skladania. Pruh hornej vrstvy sa odstráni, aby odhalil jadro; čím silnejší je sklopný alebo radiálny uhol, tým širší je pás odstránený. Lepidlo sa aplikuje na odkryté jadro, ktoré nie je odrezané, a panel sa jednoducho preloží na požadovanú polohu a upína, až kým lepidlo nestuhne. Táto metóda je veľmi úsporná, pretože sa dá robiť bez zložitých prípravkov alebo upínacích prípravkov. Umiestnenia spojovacích častí vyžadujú dodatočný materiál, ako je lepenie, ktoré držia skrutku alebo upevňovač; spojka alebo rúrka viazaná na obidve kože, v ktorých je držiak držaný; alebo vložka so závitom, ktorá je na mieste s extra živicom alebo penou. Okraje panelov vyžadujú finálnu úpravu, ako je ohraňovanie okrajov, lepené profily tvarované vstrekaním alebo plastový kryt, ktorý zabraňuje prenikaniu vlhkosti do jadra a predstavuje dekoratívnu úpravu.

Vzhľadom na to, že čelné vrstvy sendvičových panelov sú veľmi tenké, je jadrová tlač častá. Ďalej sa pri reakcii a vytvrdzovaní môžu vytvárať dierky ako fenolové živice. Preto sú panely viditeľné pre cestujúcich zvyčajne povrchovo upravené niektorým typom dekoratívneho materiálu na pokrytie povrchových chýb. Podlahové panely môžu byť natreté alebo zakryté impregnovaným kobercom s nehorľavým účinkom. ⁽¹⁴⁾

PVF

Dekoratívne povrchy zahŕňajú plastové fólie alebo lamináty, tkaniny tapisérie, plastové lamináty alebo farby. Natieranie vyžaduje plnenie, brúsenie a nanášanie základných náterov. Dekoratívna fólia alebo laminát odstraňuje niektoré kroky povrchovej úpravy a dokončovania, ale zvyšuje náklady a hmotnosť časti. Dekoračné plastové lamináty sa líšia od fólií tým, že kombinujú niekoľko filmov - vrstiev, ktoré vykonávajú rôzne funkcie. Typický dekoratívny laminát obsahuje opticky čiru vonkajšiu vrstvu z opotrebovávacej fólie z polyvinylfluoridu (PVF), ktorá pokrýva a chráni jednu alebo viac vrstiev potlačených alebo textúrovaných fólií (Obrázok 10). Fólie a lamináty sú pripevnené na panely s vrstvou fóliového lepidla (epoxidový, fenolový alebo polyuretánový).⁽¹⁴⁾



Obrázok 10 Polymérová poťahová látka PVF ⁽¹⁴⁾

PEKK

Niektorí výrobcovia si vyberajú skôr termoplastické materiály než termosetové materiály. Na rozdiel od termosetov sa termoplasty spracúvajú v priebehu niekoľkých minút, pretože vykurovaná živica sa musí iba tvarovať a ochladiť - nedochádza k chemickej reakcii. Zatiaľ čo vysokoteplotné, vysoko odolné termoplastické živice ako polyéterketónketón (PEKK) stoja výrazne viac ako fenolová živica, materiál má lepšiu pružnosť a odolnosť proti nárazu

a rýchlejšie sa spracováva, čo je výhodnejšie pre niektoré aplikácie. Lahko spĺňa požiaro-technické požiadavky odolnosti voči požiaru, dymu a toxicity kabíny podľa FST. Malé okenné posúvne tienidlá, ktoré sa nachádzajú vo všetkých lietadlách sú vlastne tepelne tvarované plastové fólie PEKK. Ďalší výrobcovia skúšajú prejsť na tepelne tvarované termoplastické časti nosných komponentov, ktoré vyžadujú vysokú nárazovú pevnosť⁽¹⁵⁾

PEKK má extrémne vysokú teplotu tavenia (300 °C - 360 °C v závislosti od triedy) a poskytuje vynikajúcu odolnosť voči chemikáliám a oderu. Zosilnený uhlíkovými vláknami, je rovnako tuhý ako niektoré kovy, ale výrazne ľahší. Je nehorľavý a nevytvára toxické výpary. Je jednoducho tvarovateľný nad bodom tavenia. Dá sa ľahko vstrekať do foriem alebo lisovať do formy rúrok alebo fólií.⁽¹⁵⁾

Vývoj polymérových kompozitných materiálov napreduje. Výrobcovia hľadajú kombináciu požadovaných vlastností pre určené aplikácie. Materiály používané v interiéroch kabín musia spĺňať požiadavky na bezpečnosť cestujúcich a ich pohodlie. Súčasne sa hľadá ekonomické a ekologické riešenie. Jedným z dominantných výrobcov interiérových polymérov je americká BASF. Spoločnosť BASF disponuje celou líniou materiálov pre kabínu a interiér lietadiel, ktoré spĺňajú požiadavky na vysokú pevnosť, nízku hmotnosť a úsporu miesta. Z hľadiska požiarotechnických vlastností sa vyvíjané materiály zameriavajú na vyššiu rezistenciu voči teplu, emisie dymu a úroveň toxicity podľa noriem ASTM (FST) podľa normy FAR 25.853. Ďalšou požiadavkou je vývoj na zníženie produkcie ozónu a prchavých organických zlúčenín (VOC) v prostredí interiéru lietadla.

Z nových termoplastických materiálov od BASF, ktoré majú potenciál uplatnenia v interiéroch lietadiel môžeme menovať nasledujúce:⁽¹⁶⁾

Termoplastický polyuretán (TPU)

Elastollánový termoplastický polyuretán (TPU) umožňuje konštrukciu interiérových častí odolných voči mäkkému dotyku a vysokú odolnosť proti oderu, ako sú opierky na ruky, elektronické kryty a vysoké dotykové povrchy. Kompatibilné s požiadavkami FST.

Vysokoteplotné termoplasty a kompozity

Contoura, ľahký kompozit

Bez formaldehydu, s veľmi nízkymi emisiami spojivového systému, ktorý sa dá použiť na výrobu kompozitných zložiek z vlákien až o 40 % ľahších. Spracované s použitím tradičných termoplastických metód tvárnenia za tepla alebo termosetov, Contoura poskytuje vynikajúcu mechanickú stabilitu, dlhú trvanlivosť. Kompatibilná s FST.

Ultramid

Tieto polyamidové materiály pre komponenty interiéru lietadiel, ako sú jedálenské vozíky a zámky. Spájajú spracovateľnosť a pružnosť konštrukcie s vysokou pevnosťou v ťahu a rázovou húževnatosťou. Sú súčasťou vybavenia nevystuženého a vystuženého skla.

Ultrazvukový termoplastický panel

Ultrazvukový PES je recyklovateľná alternatíva k polyaramidovým voštinám. Predstavuje 10%-nú úsporu na hmotnosti 55-65%-nú úsporu práce a času. Tieto panely majú vynikajúcu povrchovú úpravu a odolnosť voči poškodeniu. Kompatibilné s FST a OSU.

Ultrazvuk E a Ultrason

Tvarované tvary a penové jadrové materiály vyrobené z Ultrason E a Ultrason P sú recyklovateľné, odolné a kompatibilné s vykurovaním FST a OSU.

Ultrazvukový zosilnený termoplastický laminát

Recyklovateľná alternatíva k fenolovým predimpregnovaným laminátom, ktorá poskytuje efektívnosť výroby, čas a úsporu práce. Kompatibilné s FST a OSU.

Ultrazvukové polotovary

Nerelaminátové dosky, vystužené termoplastické lamináty (RTL) a jednosmerné (UD) pásy.

Basotect UL

Pena odolná voči plameňu, recyklovateľná termoakustická izolácia
Melamínová pena je ľahká a udržateľná bez nutnosti plnenia (v porovnaní s izoláciou zo sklenených vlákien). Používa sa v aplikáciách, ako sú steny kabín a potrubia.

Divinycell F od Diab

- Ľahké jadrové materiály vyrobené z Ultrasonovej alternatívy k plástu.
- Inovované a trecie klapky NVH
- Cellasto mikrobunečný PU

Tieto držiaky motorov, vibračné a šokové izolátory sú ľahkou alternatívou k gumám, ktoré poskytujú trvanlivosť, všestranné možnosti návrhu a až 50 % úsporu hmotnosti.

PE

Kompozitné materiály s polyetylénom s vysokou hustotou sa používajú na obalovanie rúrok, trubíc a hadíc pre dodatočné vystuženie a ako vonkajšia ochrana pre zvýšenie odolnosti voči korózii. ⁽¹⁷⁾

HDPE

Polymérne prachové častice v atmosfére sú horľavé a môžu byť výbušné. Počas spaľovania môže vzniknúť CO, olefínová a parafínová zlúčenina, stopové množstvo organických kyselín, ketóny, aldehydy a alkoholy. Spaľovaním alebo tepelným rozkladom vznikajú jedovaté a dráždivé výpary. Pri izbovej teplote nie sú známe žiadne nebezpečné produkty rozkladu. Pri zvýšenej teplote sa materiál začne rozkladať a vytvárať výpary, ktoré môžu obsahovať CO₂, CO, ketóny a aldehydy.⁽¹⁷⁾

2.6 Účinky splodín horenia na ľudský organizmus

Väčšina úmrtí obetí požiarov nie je spôsobená popáleninami, ale vdýchnutím dymu, ktorý vďaka dusivým účinkom znemožní ľuďom dostať sa k východu postihnutého priestoru. Bežné syntetické materiály vytvárajú obzvlášť nebezpečné látky. Rozvíjajúci sa požiar vnútri uzavretého priestoru často spotrebuje väčšinu dostupného kyslíka a spomalí proces horenia. Toto nedokonalé horenie vedie k vzniku toxických plynov.

Pre pochopenie procesov horenia polymérov je potrebné ozrejmiť niektoré základné pojmy.

2.6.1 Horenie polymérov. Nedokonalé horenie

Pojem horenia môžeme definovať ako chemickú reakciu, ktorá je sprevádzaná uvoľňovaním tepla a vyžarovaním svetla. Horenie je samovoľná oxidácia látky,

ktorá za prítomnosti oxidovadla prebieha po iniciácii (vznietení) za vývinu tepla a svetla.⁽¹⁹⁾

Horenie ako oxidačná reakcia prebieha formou reťazových reakcií v troch fázach:⁽¹⁹⁾

- iniciačná,
- propagačná,
- terminačná.

V iniciačnej fáze sa vytvára horľavý súbor, ktorému sa dodáva energia rôzneho množstva a druhu. Je to v podstate začiatok horenia, kde vplyvom dodávania energie dochádza v molekulách prítomných látok k štiepeniu väzieb za vzniku radikálov. Iniciačná fáza sa zameriava na získanie údajov o termických vlastnostiach materiálov (merné teplo, tepelná vodivosť), o podmienkach prestupu tepla a pod.

V propagačnej fáze na základe prebiehajúceho procesu hovoríme o:⁽¹⁸⁾

- pyrolýze – horenie bez prístupu vzduchu;
- termolýze – pôsobenie tepla;
- plameňovom horení;
- bezplameňovom horení – tlenie, žeravenie;
- explozívnom horení.

V terminačnej fáze dochádza k ukončeniu procesu horenia, ktoré môže nastať tromi spôsobmi:

- zhorí celá horľavá látka;
- horľavej látke sa minie kyslík;
- horenie sa ukončí úmyselne (uhasenie rôznymi hasiacimi látkami).

Horenie polymérov všeobecne, ovplyvňujú dva faktory: vznik horľavých látok vznikajúcich pri termickom rozklade polymérov a oxidačné činidlo, ktorým

je zvyčajne vzdušný kyslík. Horenie býva iniciované nárastom teploty polymérneho materiálu od tepelného zdroja, pri ktorej sa polymér začína rozkladať na nižšie molekulové a prchavé fragmenty. Prchavé podiely týchto polymérnych fragmentov difundujú do vzduchu a v závislosti od zloženia vytvárajú horľavú plynnú zmes. Táto plynná zmes sa vznieti pri teplote, ktorá sa volá teplota vznietenia. Horľavá zmes sa môže zapáliť aj pri nižšej teplote vzplanutia externým zdrojom iskrou alebo plameňom. Keď množstvo uvoľneného tepla z plynnej horľavej zmesi dosiahne určitý stupeň, zvýši sa prestup tepla do kondenzovanej fázy a vyvolá to ďalšie rozkladné reakcie, čím sa produkuje viac horľavých látok a proces sa stáva samonosným.⁽²⁰⁾

Na rozvoj požiaru a jeho priebeh má zásadný vplyv chemické zloženie horľavého materiálu, spôsob iniciácie,

2.6.2 Dym ako rozhodujúci faktor úmrtia obetí požiarov

Dym je zložený z týchto zložiek⁽¹⁸⁾:

- **Tuhé častice:** nespálené, čiastočne spálené a úplne spálené látky môžu byť tak malé, že prenikajú do ochranných filtrov respiračného systému a usadzujú sa v pľúcach. Niektoré sú aktívne toxické iné dráždia oči a tráviaci systém.
- **Výpary:** mikrovapôčky môžu spôsobovať otravu inhaláciou alebo absorpciou kožou.
- **Jedovaté plyny:**
 - CO oxid uhoľnatý je najbežnejší, môže byť smrteľný aj v malých množstvách, pretože vytesňuje kyslík v krvnom riečisku.

- CO₂ oxid uhličitý je výsledkom spaľovania plastov ako je PVC a narušuje celulárne dýchanie. Fosgén vzniká pri spaľovaní vinylových materiálov. V nižších koncentráciách môže fosgén pôsobiť svrbenie očí a bolesť v krku; vo vyšších koncentráciách môže spôsobiť pľúcny edém a smrť.

Gormsen a kol. ⁽²¹⁾ publikoval súhrnné závery z výsledkov pitiev 169 obetí požiaru. Až u 50 % obetí bola zistená smrteľná hladina karboxyhemoglobínu. Sadze v dýchacích cestách boli nájdené v 90 % prípadov. Vekové rozloženie obetí požiaru ukázalo výrazne menej ľudí vo vekovej skupine 15-35 rokov, než sa predpokladalo vzhľadom na vekové rozloženie populácie. Tento fakt je pripisovaný väčšej pohyblivosti a schopnosti včas reagovať, ktorá je u mladých ľudí výrazne lepšia v porovnaní so staršou populáciou. Viac ako polovica obetí mala alkohol v krvi nad 0,5 promile. Intoxikácia alkoholom by mala byť považovaná za prinajmenšom doplnkový faktor úmrtia pri požiaru.

Charakteristická dvojfázová distribúcia karboxyhemoglobínu u obetí požiaru spoločne s ďalšími pozorovaniami naznačuje, že hlavnými príčinami smrti sú otrava oxidom uhoľnatým, otrava oxidom uhličitým a/alebo nedostatok kyslíka, zatiaľ čo vplyv tepla je považovaný za sekundárnu príčinu úmrtia. ⁽²¹⁾

Polyméry sa líšia svojím chemickým zložením, preto aj emisie pri ich tepelnej degradácii resp. pri horení sa líšia. Najvýznamnejšie zastúpenie majú z hľadiska účinkov na ľudský organizmus aldehydy. ⁽²²⁾

2.6.3 Vplyv emisií horenia PE a PP na ľudský organizmus

V prípade polyetylénu sa percentuálne pri tlení (termooxidácii) najviac uvoľňujú butyraldehyd, vareldehyd, propanal a acetylaldehyd. Pri rozhorení sa uvoľňuje pentén, hexán, heptén, oktán a príbuzné uhľovodíky.

Polypropylén pri termooxidácii výrazne uvoľňuje acetón a 4,6-dimetyl 5-pentén 2-ón. Pri horení dominuje 2,4-dimetyl 2-heptén (až 30 %) a izoméry $C_{15}H_{30}$

Ketóny sú organické zlúčeniny, ktoré uprostred uhlíkového reťazca obsahujú karbonylovú skupinu ($C=O$), ktorá sa v tomto prípade označuje aj ako oxoskupina. Patrí medzi karbonylové zlúčeniny (spolu s aldehydmi, ktoré obsahujú karbonylovú skupinu na konci reťazca a druhý substituent je potom vodík). Najznámejšími ketónmi sú acetón a butanón.⁽²³⁾

Acetón je základnou surovinou chemického priemyslu. Využíva sa pri syntéze acetonyanhydrinu, ktorý pôsobením kyseliny sírovej prechádza na methakrylamid sulfát. Táto zlúčenina potom reaguje s metanolom za vzniku metylmetakrylátu - metylesteru kyseliny akrylovej. To je základný stavebný prvok polyméru známeho ako plexisklo.⁽²³⁾

Pri inhalačnej expozícii sa prejavujú dráždivé a narkotické účinky. Koncentrácia 200 ppm sa považuje do 8 hodín za znesiteľnú, koncentrácia 300 ppm už môže viesť k ľahkému podráždeniu slizníc, koncentrácia 400 ppm dráždi priebehu niekoľkých minút. Hodnoty sú však rozdielne, keďže na dráždenie acetónovými parami sa privyká.

Hlavným nebezpečenstvom spätým s acetónom je jeho značná horľavosť. Teplota vznietenia je $465\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pri teplotách nad bodom vznietenia ($-17\text{ }^{\circ}\text{C}$) môžu jeho zmesi so vzduchom obsahujúci 2,5 až 12,8 % acetónu explodovať alebo expanzívne zhorieť. Pary acetónu môžu tiecť po povrchu k vzdialeným zdrojom zapálenia a prípadný oheň potom vyšľahne spätným smerom. Pary môže zapáliť tiež výboj statickej elektriny.

Butanón rozpúšťa veľa typov látok a používa sa preto ako rozpúšťač v procesoch, ako je výroba gumy, živíc, náterov z acetátu celulózy

a z nitrocelulózy, tiež pre vinylové filmy. Z tohto dôvodu nachádza uplatnenie pri výrobe plastov, textilu, parafínového vosku a rôznych produktov pre domácnosť, napríklad lakov, moridiel, odstraňovačov náterov, tiež ako denaturačné činidlo (pre denaturáciu liehu), do lepidiel a ako čistiaci prostriedok. Používa sa aj ako rozpúšťadlo farbív pre značkovače odstrániteľné za sucha.⁽²⁴⁾

Pri koncentrácii 1 mg.l^{-1} dráždi už v niekoľkých minútach a koncentrácia 30 mg.l^{-1} je už neznesiteľná. Vstrebáva sa kožou a môže byť príčinou vyrážok.

Formaldehyd

Plynný formaldehyd môže vstupovať do tela inhalačne alebo kontaktom s kožou či okom. Orálna expozícia pripadá do úvahy iba u vodného roztoku formaldehydu alebo kontaminovanú stravou. V pľúcach sa formaldehyd ľahko vstrebáva. Polčas rozpadu v krvi je asi 90 sekúnd a metabolitom je kyselina mravčia (je vylučovaná močom) a oxid uhličitý (je vydychovaný). Akútne expozície malým dávkam formaldehydu vyvoláva bolesti hlavy a zápal nosovej sliznice. Vyššia koncentrácia spôsobuje vážne podráždenie slizníc a respiračné problémy, napr. Zápal priedušiek a opuch alebo zápal pľúc. U citlivých jedincov môže formaldehyd vyvolávať astmu a zápaly kože. Formaldehyd dráždi oči a vyvoláva slzenie. Vyššia koncentrácia môžu vyvolať zákal rohovky alebo aj stratu zraku. Rýchlo sa vstrebáva kožou a môže spôsobovať podráždenie alebo alergické reakcie. Poškodenie sa môže objaviť až niekoľko hodín po expozícii. Pri požití môže dôjsť k poleptaniu až prederaveniu gastrointestinálnej sliznice.⁽²⁴⁾

Okrem zvýšenia kyslosti môže formaldehyd poškodzovať centrálnu nervovú sústavu (napr. krčce), pečeň a obličky. Podľa klasifikácie EPA patrí formaldehyd medzi pravdepodobné ľudské karcinogény. Patrí tiež medzi látky mutagénne a vyvoláva chromozomálne zmeny pľúcnych buniek.

Formaldehyd je veľmi horľavý v plynnej aj v kvapalnej forme. Pary sa môžu premiestniť na veľké vzdialenosti, môže preto dôjsť k požiaru vo veľkej vzdialenosti od zdroja úniku. So vzduchom vytvára v širokom koncentračnom rozmedzí výbušné zmesi. Pri horení vznikajú jedovaté plyny. Nádoby s formaldehydom môžu pri požiaru explodovať. Čistý formaldehyd môže samovoľne polymerizovať.⁽²⁵⁾

Valeraldehyd

Valeraldehyd spôsobuje podráždenie kože u ľudí a bol dráždivý pre kožu a oči u laboratórnych zvierat. Štúdia dobrovoľníkov nevyvolala žiadny dôkaz potenciálu senzibilizácie kože. U rôznych druhov mala nízku akútnu orálnu alebo dermálnu toxicitu. Poškodenie pľúc bolo hlavným účinkom jednej vysokej expozície aerosólu. Valeraldehyd spôsobil chromozomálne a DNA účinky v cicavčích bunkách v kultúre, ale nebol mutagénny v Amesovom bakteriálnom teste.⁽²⁶⁾

2,4-dimetyl 2-heptén

Jedná sa o extrémne horľavú látku v kvapalnom alebo plynnom skupenstve. Je produktom tepelnej degradácie polypropylénu. Pri vdýchnutí alebo prehltnutí môže spôsobiť smrť.⁽²⁷⁾

2.6.4 Index toxicity

Pri novo zavedených materiáloch sa vykonáva povinne test toxicity produktu horenia. Do expozičnej komory sa vložia štyri myši a potom sa uvedie do cirkulácie vzduch medzi expozičnou a spaľovacou komorou. Predpísané množstvo materiálu je splyňované v žihacej peci (na komoru s objemom 4,5 litra sa dávkuje 0,1-0,4 g horľaviny). Teplota vzduchu v systéme je udržiavaná na 30 °C. Expozícia trvá 20 minút. V komore je monitorovaný obsah oxidu

uhľoľnatého, oxidu uhľiĉitého a kyslíka. U zvierat je po teste stanovený obsah karboxyhemoglobínu v krvi. Pokus sa uskutoĉňuje v podmienkach bezplameňového a plameňového horenia. Z nameraných hodnôt je následne vypoĉítaný index toxicity I_{tox} ⁽²⁸⁾

$$I_{tox} = \frac{10}{LD_{50} \cdot \left(1 + \frac{HS}{100}\right)} \quad (3)$$

LD₅₀ – stredná letálna dávka

HS – obsah karboxyhemoglobínu v krvi v %, pri ktorom došlo k úhynu zvierat

Z tabuľky toxicity vyplýva nebezpeĉenstvo spojené s bezplamenným horením PE, PU ale aj dreva. Toxicita PP je až 6x nižšia v porovnaní s PE. Pri plameňovom horení je naopak veľmi toxický polystyrén.

Tabuľka 6 Index toxicity vybraných látok ⁽²⁸⁾

Materiál	Bez plameňa	S plameňom
Polypropylén	40	83
Polyamid 6	-	97
Polystyrén	80	154
Polyuretán	144	114
Polyvinylchlorid	-	80
Polyetylén	244	111
Drevo – buk	136	101
Drevo – smrek	216	89

2.6.5 Vplyv sálavého tepla

Teplu u požiariu predstavuje okrem rizika popálenia tiež priame riziko poškodenia dýchacích ciest. Vdýchnutím prehriatych plynov dochádza okrem toxických účinkov splodín horenia k ožehnutiu sliznice dýchacích ciest. Ak je vdýchnutý vzduch dostatočne horúci, aj jediný nádych môže spôsobiť smrť.

Zhruba 10% z osôb, ktoré prežili bezprostredné účinky požiaru, umiera neskôr. Najčastejšie príčiny úmrtia: ⁽²⁹⁾

- Stratou tekutín následkom popálenia a s tým spojená nerovnováha elektrolytov a hypovolemický šok²
- Infekcia v dôsledku znížená ochrannej funkcie spálenej kože
- Syndróm akútnej respiračnej tiesne ARDS³
- Zlyhanie obličiek
- Abnormálne zrážanie krvi

Pravidlo 100

Pravdepodobnosť prežitia požiaru je daná pravidlom 100. Pravdepodobnosť prežitia popálených osôb je veľmi nízka, ak súčet percentuálneho postihnutia tela popáleninami a veku postihnutej osoby je väčší ako 100. Ak máme dve osoby s 30%-ným postihnutím popáleninami, jedna má 40 rokov a druhá 70, mladšia osoba má oveľa väčšiu šancu na prežitie, pretože súčet veku a popálenín je 70, zatiaľ čo pri druhej je tento súčet rovný 100 a možné zlyhanie životne dôležitých orgánov následkom vyššie uvedených komplikácií je u starších ľudí vysoko pravdepodobné.⁽³⁰⁾

² Hypovolemický šok je náhla porucha perfúzie orgánov a tkanív, ktorá vedie k orgánovým zmenám a ohrozuje pacienta na živote (Pastor, 2018).

³ ARDS je výsledkom neprimeranej zápalovej reakcie v pľúcnom tkanive, ktorú môže vyvolať infekčné aj neinfekčné faktory. Počas tejto reakcie dochádza k poškodeniu pľúcnych alveol, k hromadeniu tekutiny v pľúcach a predĺženie difúznej dráhy kyslíka. ARDS sa najčastejšie vyskytuje ako následok aspirácie žalúdočného obsahu, ťažkej traumy, pľúcnej infekcie, topenia a je klinickou manifestáciou pľúcneho šoku (Zvoníček, 2001)

3 CIEĽ PRÁCE A HYPOTÉZY

Cieľom tejto diplomovej práce je priblíženie práce zistovateľov príčin požiaru, a poukázanie na význam testovania požiaro-technických charakteristík dominantných materiálov leteckých interiérov olefinových polymérov polypropylénu a polyetylénu v súvislosti s prevenciou úmrtí cestujúcich a posádky, ktorí aj keď prežijú náraz lietadla častokrát zahynú pri následnom požiari neodolných materiálov.

Ďalším cieľom tejto práce bolo priblížiť účinky požiaru na ľudský organizmus, druh a množstvo chemických látok vyskytujúcich sa v splodinách a určiť ich nebezpečné účinky.

Hypotézy

1. Pri horení niektorých leteckých materiálov dochádza k vzniku toxických splodín. Zloženie emisií je závislé predovšetkým na chemickej štruktúre spaľovaného materiálu.
2. Vznik toxických látok je ovplyvnený radom ďalších faktorov, predovšetkým teplotou horenia a koncentráciou kyslíka v okolitej atmosfére.
3. Teoretické poznatky a laboratórne výsledky možno využiť pre riešenie reálnych situácií.
4. Identifikáciou požiarotechnických vlastností materiálov je možné prispieť k prevencii rizík leteckých nehôd a vážnych incidentov.

4 METODIKA

Problematiku zisťovania príčin požiarov v leteckej doprave je možné spracovávať z viacerých uhlov pohľadu. V druhej kapitole sa zaoberáme najmä súčasnými postupmi a legislatívnymi právomocami Ústavu pre odborné zisťovanie príčin leteckých nehôd. Ide o problematiku Leteckých nehôd, vážnych incidentov a incidentov s dôrazom na prvé dva menované pojmy, keďže požiar na palube lietadla je považovaný vždy za min. vážny incident. Detailnejšie sa venuje materiálom v leteckom priemysle, účinkom splodín horenia na ľudský organizmus a účinko sálavého tepla.

Jadrom práce je piata kapitola, ktorá je rozdelená na dve časti, praktickým testom polymérov na kónickom kalorimetri a posúdeniu rizík pomocou SWOT analýzy.

V následnej diskusii sú podrobne analyzované poznatky a závery z predošlej kapitoly vo vzťahu k stanoveným hypotézam. V diskusii sa hypotézy buď potvrdia alebo vyvrátia. Diskutované sú tiež preventívne opatrenia vzniku požiarov v leteckej doprave.

Zber informácií predpokladá zber relevantných dát, zhromažďovanie dokumentov v písomnej alebo elektronickej podobe, zaznamenávanie ústne podaných informácií a vypracovanie rešerší.

Analýza dát je proces kontroly, extrakcie, transformácie a modelovania dát s cieľom objaviť užitočné informácie, ktoré napomôžu vysloviť závery na podporu rozhodovania. Existuje množstvo kvalitatívnych a kvantitatívnych analytických metód jednak na analýzu dát, matematickú analýzu, štatistickú analýzu, chemickú analýzu, modelovanie apod. V práci bola použitá SWOT analýza.

Interpretácia získaných informácií predstavuje slovné, číselné alebo grafické vyjadrenie, vysvetlenie a vyhodnotenie získaných informácií vo vzťahu k predmetu skúmania. Objasňuje, čo predmetná informácia znamená alebo môže znamenať. Interpretácia výsledkov je nevyhnutná pre formulovanie záverov.

Formulácia záverov je sumarizácia interpretovaných výsledkov vo vzťahu k vytýčenému cieľu. V rozsiahlejších prácach je vhodné použiť formuláciu čiastkových záverov po každej kapitole. Na záver každej práce je nutné zhrnúť, čo je výsledkom predkladaného diela.

Posudzovanie rizík je proces pozostávajúci z identifikácie, analýzy a hodnotenia rizík kvalitatívnym alebo kvantitatívnym spôsobom, pri ktorom sa uplatňujú rôzne manažérske postupy a techniky.

SWOT analýza je analýza interného a externého prostredia, silných a slabých stránok, príležitostí a hrozieb skúmaného objektu.

Praktické testy na kónickom kalorimetri. Pomocou rýchlosti uvoľňovania tepla vieme zistiť správanie sa materiálu v podmienkach horenia a ako svojim zložením prispieva k rozvoju požiaru. Testované materiály boli PE a PP ako základné materiály súčastí interiérov lietadiel.

5 VÝSLEDKY

Overenie prvých dvoch stanovených hypotéz H1 a H2 predpokladá znalosti o požiaro-fyzikálnych vlastnostiach materiálov používaných v interiéroch lietadla. Zároveň je nutné spoznať prostredie v ktorom k požiaru môže dôjsť. Ďalšie dve hypotézy H3 a H4 sú spojené s využiteľnosťou teoretických a experimentálne zistených vlastností v praxi s dôrazom na prevenciu rizík LN a VI.

Z hľadiska znižovania rizika požiaru na palube lietadla je nutné identifikovať základné faktory, ktoré ovplyvňujú vznik požiaru. Zo záverečných správ LN a VI je možné identifikovať tieto rizikové faktory:

- únik paliva (to najmä pri malých lietadlách a ultralightoch);
- poškodenie lopatiek motorov;
- závada na elektroinštalácii;
- nebezpečné látky prepravované v batožinovom priestore.

Riziko rozvoja požiaru závisí na prítomnosti:

- prítomnosti horľavých materiálov v blízkosti zdroja iniciácie;
- prístupu vzdušného kyslíka;
- funkčnosti signalizácie;
- reakcie posádky na signalizovaný počiatok požiaru.

Pričom veľmi nebezpečný je tiež nerozvinutý požiar najmä keď sa z izolácie elektrických vodičov uvoľňuje množstvo dymu pri nedokonalom horení a následného rizika intoxikácie pasažierov a posádky jedovatými plynmi.

5.1 Testy polymérov na kónickom kalorimetri

Testy na kónickom kalorimetri sledujú neporovnateľne viac fyzikálnych veličín ako testy uvedené v predchádzajúcej kapitole. Prebiehajú na zložitejšom zariadení, ktoré je náročné na prípravné úkony (Obrázok 24).

5.1.1 Prípravné úkony

Pomocou rýchlosti uvoľňovania tepla vieme zistiť správanie sa materiálu v podmienkach horenia a ako svojím zložením prispieva k rozvoju požiaru. Čas do zapálenia vzorky je možné charakterizovať ako dobu od začiatku pôsobenia tepelného toku na povrch vzorky po ustálenie plameňového horenia. Z hľadiska správania sa materiálu v prípade požiaru sa jedná o jednu z jeho najdôležitejších vlastností. Časom zapálenia zistíme jeho požiaru odolnosť. Dlhší čas plamenného horenia je možným zdrojom požiaru pre iné materiály v priestore požiaru, spotrebuje sa väčšie množstvo kyslíka a hasenie rozvinutejšieho požiaru je obťažnejšie. Vybrané vzorky uložené v zariadení kónického kalorimetra boli vystavené sálavému teplu pri teplote 750 °C, ktorá zodpovedá tepelnému toku 35 kW/m².

Tabuľka 7 Skúšobné podmienky Kónického kalorimetra

Merané parametre	Hodnota
poloha vzorky	horizontálna
hrúbka vzorky	rôzna pre každú vzorku
plošné rozmery vzorky	0,1 x 0,1 m
plocha exponovaného povrchu vzorky	0,01 m ²
kolmá vzdialenosť vzorky od žiariča	0,06 m
prietok v odsávacom systéme	0,024 m ³ .s ⁻¹
kalibračná konštanta C	0,041382
teplota žiariča t	750 °C
tepelný tok	35 kW/m ²
koncentrácia kyslíka	20,95 ± 0,02 %
Teplota, tlak, vlhkosť prostredia	21 °C, 99,7 kPa, 50 %

Metodika merania kónickým kalorimetrom sa uplatňuje pri testoch materiálov a pri analýzach vzniku príčin požiarov v Požiarno-technickom expertíznom ústave MV SR v Bratislave, pričom podobný typ je v prevádzke v Trnave na Materiálovo-technologickej fakulte STU. Naše počiatočné podmienky sú zachytené v tabuľke (Tabuľka 7)

$$\dot{q} = \frac{\Delta h_c}{r_0} (\dot{m}_{O_2\infty} - \dot{m}_{O_2}) \quad (1)$$

\dot{q} rýchlosť uvoľňovania tepla [kW],

$\dot{m}_{O_2\infty}$ hmotnostný tok kyslíka, ktorý vstupuje do systému [kg.s⁻¹],

\dot{m}_{O_2} hmotnostný tok kyslíka, ktorý vystupuje zo systému [kg.s⁻¹],

$\Delta h_c/r_0$ hodnota 13,1 definovaná ako pomer výhrevnosti [kJ.kg⁻¹] a stechiometrického koeficientu.

Príprava vzoriek prebiehala v súlade s normami ISO 5660-1:2002, ISO 5660-2:2002 a ISO 5660-3:2003. Vzorky mali predpísaný štvorcový tvar veľkosti 100 x 100 x 12 mm. Pre každý typ boli použité 3 vzorky. Bezprostredne pred meraním. Medzi držiak a vzorku sa vložila tenká hliníková fólia, ktorá odrážala tepelné žiarenie. Pre každý experiment bol použitý nový kus fólie rovnakých rozmerov.⁽¹⁸⁾

Príprava vzoriek a testy prebehli na Požiarno-technologickom a expertíznom ústave v Bratislave, ktorý disponuje kónickým kalorimetrom. Testy na kónickom kalorimetri sme uprednostnili pred inými typmi testov, ktoré sú popísané v americkej norme ASTM. Tieto sú zamerané na konkrétne časti vybavenie lietadiel a na odolnosť jednotlivých materiálov resp. zariadenia v konkrétnych simulovaných podmienkach.



Obrázok 11 Kónický kalorimeter, PTEÚ ⁽¹⁸⁾

PVC sa nachádza v triede E podobne ako OSB dosky alebo laminátová plávajúca podlaha. PVC sa však bežne predáva s prídavkom retardantov horenia. Porovnávací test na kónickom kalorimetri preukázal zvýšenú odolnosť upraveného PVC v porovnaní s neošetrenou vzorkou.

Tabuľka 8 Čas zapálenia/iniciácie PVC a PVC_{ret} na kónickom kalorimetri

t_i35[s]		t_i50[s]	
PVC	PVC_{RET}	PVC	PVC_{RET}
76	585	37	376
75	590	35	356
76	596	32	398
75	575	39	432
74	587	29	359
75	612	33	345
75	591	34	378

Tabuľka 9 HRR (PVC) po 180s od zapálenia ($\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$),

$q_{A,180,35}$ [$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$]		$q_{A,180,50}$ [$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$]	
PVC	PVC _{RET}	PVC	PVC _{RET}
138	58	147	63
137	60	149	62
133	55	144	59
135	56	145	60
132	58	148	58
133	57	146	57
135	57	147	60

Prvým sledovaným ukazovateľom pri materiáloch ošetrených retardantom horenia je čas iniciácie horenia. Test bol vykonaný na siedmych vzorkách pri záťaži 35 kWm^{-2} resp. 50 kWm^{-2} . Čas iniciácie vzoriek ošetrených retardantom bol dlhší približne 8x resp. 10x pri väčšej záťaži.

Hodnoty rýchlosti uvoľňovania tepla podľa predpokladov pri neošetrených vzorkách dosahujú zhruba 2,5-násobok HRR pri vzorkách s retardantom horenia. Predmetné vzorky boli upravované už ich výrobcami. Žiadne ďalšie úpravy neboli vykonávané, takže zodpovedajú komerčne dostupným materiálom. Hore uvedené tabuľky 7 a 8 jednoznačne vypovedajú o vyššej odolnosti PVC ošetreného požiarnym retardantom.

5.1.2 Vlatné testy na kónickom kalorimetri

Rozhodnutie testovať vlastnosti polyetylénu a polypropylénu vyplýva z množstva aplikácií v ktorých sa tieto polyméry používajú. Aplikovali sme tiež známe retardanty horenia a sledovali ich účinok na jednotlivé vzorky.

Predpoklady rozdielnosti oboch polymérov PE a PP vychádzali z publikovaných testov z DSC kde je možné vidieť rozdiely v topení kryštálov

PE (126 °C) a PP (164 °C). Teplota maximálnej rýchlosti uvoľňovania prchavých produktov vo fáze aktívneho rozkladu polyméru je pre polypropylén nižšia ako pre polyetylén (434 °C vs. 465 °C). Časy do zapálenia polypropylénu sú výrazne kratšie ako u polyetylénu pri rovnakých príkonoch kónického ohrievača.⁽¹³⁾

Oba typy olefinových polymérov sa ošetrujú retardantmi horenia. Najčastejšie používané anorganické retardéry horenia sú hydroxid hlinitý a hydroxid horečnatý, ktorý sa endotermicky rozkladá v rozmedzí teplôt 180 – 200 °C a vedie k uvoľňovaniu vody.

Vzorky boli označené nasledujúcim spôsobom:

- 1 PE bez retardantu;
- 2 PP bez retardantu;
- 3 PP s trimetyl amóniumbromidom;
- 4 PP s MgO;
- 5 PE s Mg(OH)₂;
- 6 PE s MgO;
- 7 PP s Mg(OH)₂;
- 8 PE s trimetyl amóniumbromidom;
- 9 PE dibróm-5,5-dimetylhydantoinu;
- 10 HDPE;
- 11 PP dibróm-5,5-dimetylhydantoinu.

Hlavným sledovaným ukazovateľom sú:

- Čas horenia (s);
- Efektívna výhrevnosť (MJ/kg);
- Max. rýchlosť uvoľňovania tepla (kW/m²);
- Množstvo spotrebovaného kyslíka (g);
- Množstvo uvoľneného dymu (m²/m²);
- MARHE (kW/m²);

- Úbytok hmotnosti po spálení (g).



Obrázok 12 PE + hydroxid horečnatý $Mg(OH)_2$ pred a po teste

Tabuľka 10 Súhrnné výsledky meraní vzoriek na kónickom kalorimetri

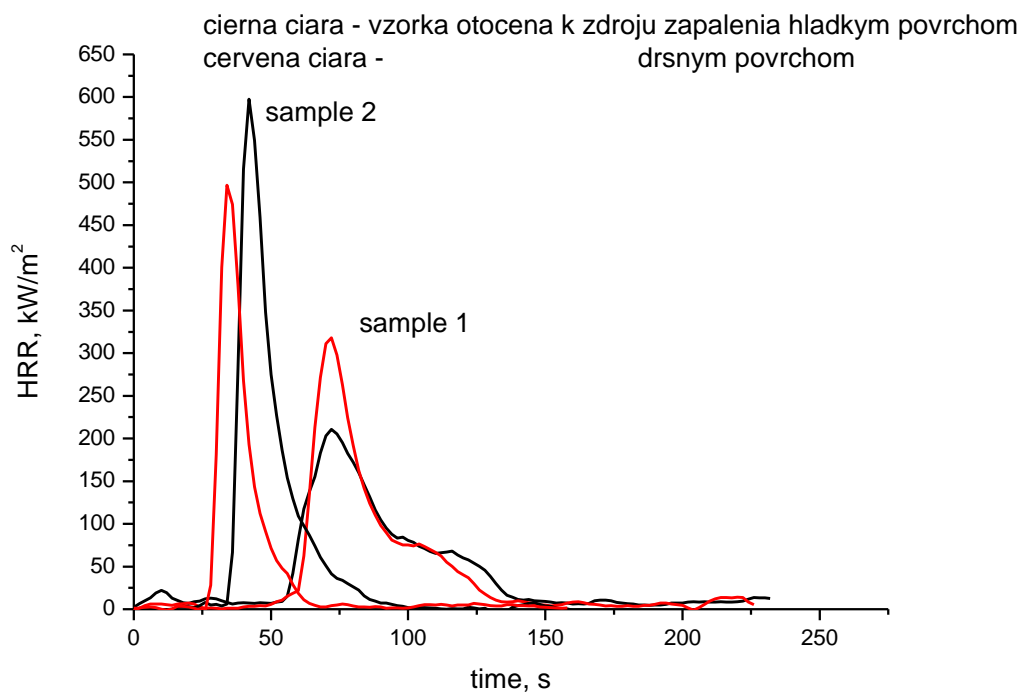
Názov vzorky / povrch vystavený ožiareniu	m (g)	Plocha (m ²)	Čas horenia (s)	EHC (MJ/kg)	Peak HRR (kW/m ²)	m spotrebovaného kyslíka (g)	m uvoľneného dymu (m ² /m ²)	MA RHE (kW/m ²)	Úbytok m (g)
1 / hladký	8,0	76,5	48 - 122	30,75	210,53	4,1	173,3	65,4	2,4
1 / drsný	8,4	76,5	51 - 115	29,41	317,85	4,2	166,9	69,5	2,5
2 / hladký	13,2	72,0	26 - 72	17,81	597,64	4,1	278,7	130,0	3,9
2 / drsný	14,3	74,8	19 - 47	16,10	496,58	3,0	275,2	114,8	3,7
3 / hladký	7,8	75,6	14 - 256	18,04	451,00	5,1	671,5	124,8	4,7
3 / drsný	7,5	74,7	15 - 161	22,11	397,42	6,5	315,0	110,8	5,0
4 / hladký	7,1	81	45 - 145	28,23	195,75	3,9	146,4	56,2	2,4
4 / drsný	7,3	81	44 - 124	28,81	198,28	3,7	194,7	64,8	2,3
5 / hladký	9,4	81	15 - 44	19,27	477,74	3,6	233,7	122,9	3,3
5 / drsný	9,2	81	10 - 40	14,68	388,85	2,5	152,4	107,9	2,8
6 / hladký	5,5	72,3	47 - 121	29,42	240,10	3,4	164,1	60,1	2,0
6 / drsný	5,7	73,9	39 - 92	26,22	245,05	2,9	167,8	64,1	2,0
7 / hladký	34,5	74,8	100 - 365	20,61	434,62	29,2	461,5	183,0	24,1
7 / drsný	34,9	79,2	87 - 338	20,89	349,14	31,0	550,8	176,2	24,7
8 / hladký	4,4	81	8 - 136	23,80	223,74	5,7	291,4	98,4	4,0
8 / drsný	4,5	81	9 - 143	23,95	168,69	5,6	314,8	84,9	3,9
9 / hladký	5,8	81	45 - 211	24,73	182,77	6,7	57,1	72,2	4,9
9 / drsný	6,3	81	53 - 224	25,86	143,71	7,3	52,6	67,7	5,3
10 / sivý	1,8	81	130 - 202	25,81	146,69	3,2	100,4	29,4	1,8
10 / bielosivý	2,4	81	54 - 158	26,05	100,57	3,4	79,0	39,3	2,4
11	3,6	81	4 - 116	35,82	374,37	7,2	37,6	133,1	3,5

Tabuľka 10 predstavuje súhrn výsledkov všetkých meraní na kónickom kalorimetri uskutočnených s uvedenými vzorkami. Podľa predpokladov

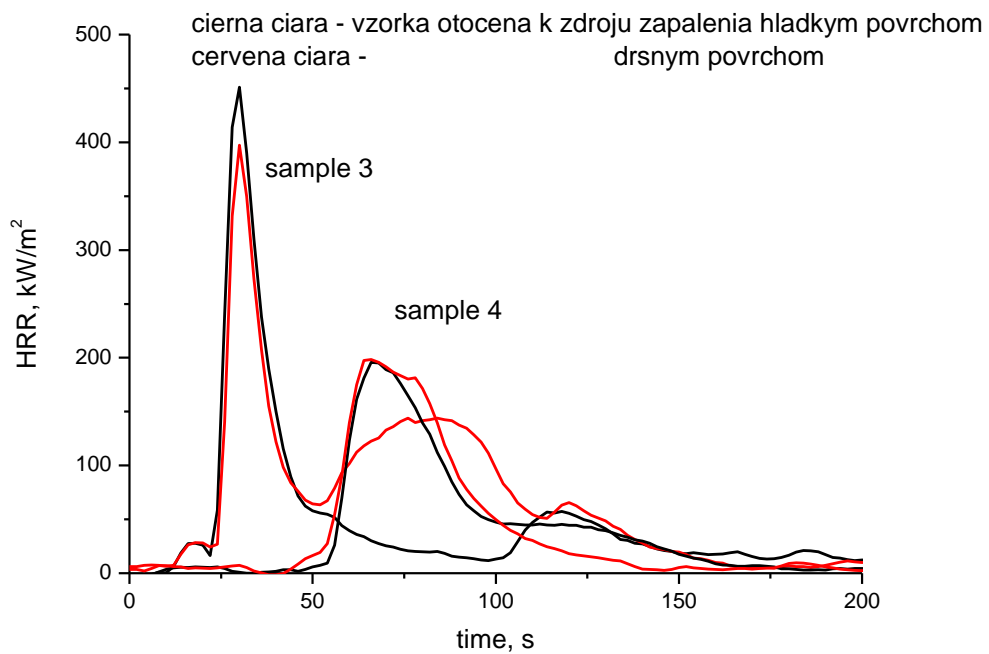
najvyššiu hodnotu HRR dosiahol neretardovaný PP (vzorka 2) a to pri meraní z oboch strán.

V nasledujúcich grafoch je znázornený vývoj HRR počas testu na kónickom kalorimetri. Každá vzorka PP a PE bola testovaná z oboch strán tzn. zo strany s hladkým povrchom ako aj zo strany s drsným povrchom. Graf na Obrázok 26 zobrazuje vzorky 1 a 2 pričom čierna čiara znamená testovanie hladkého povrchu a červená je testovanie drsného povrchu. Rozdiely medzi jednotlivými vzorkami sú badateľne väčšie ako medzi totožnou vzorkou s rôznym povrchom. Spravidla sa drsnejší povrch skôr zapálil avšak iba v jednom prípade kopíroval aj hodnotu max. HRR. Jedná sa o vzorku 4 kde Max HRR dosiahla 198 kW/m² na drsnej strane, zatiaľ čo Max HRR pre hladkú stranu malo hodnotu 196 kW/m² (Obrázok 14) podobne to bolo pri vzorke 6 (Obrázok 15).

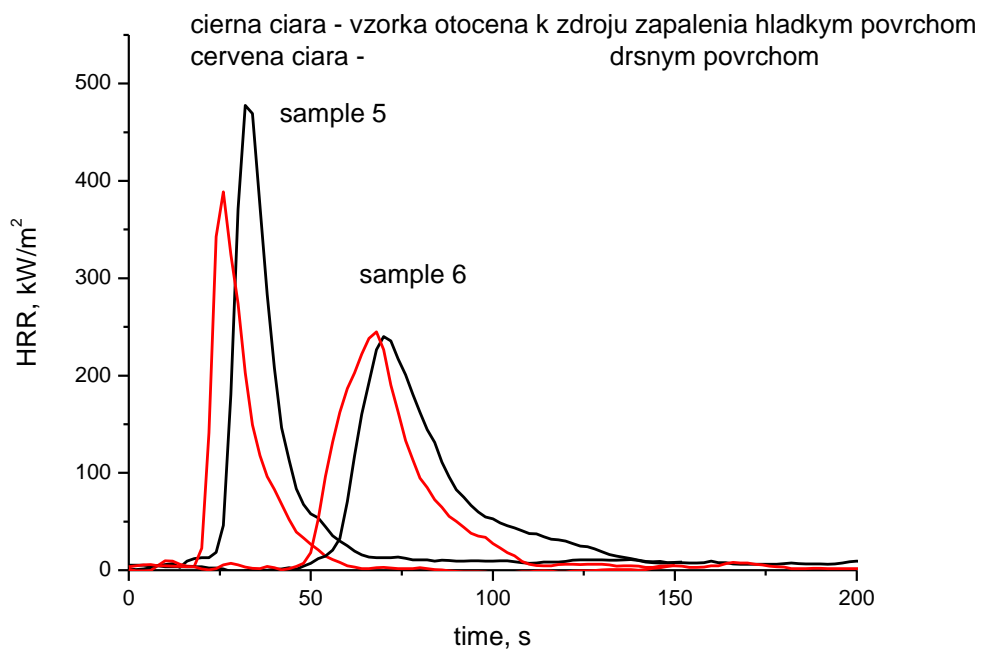
Graf však jasne zobrazuje predstih drsnej pred hladkou stranou, a následné kopírovanie priebehu, ako keby išlo o fázový posun. Posledný graf neznázorňuje ten istý povrch ale inakší odtieň vzorky 10 a taktiež vzorku 11.



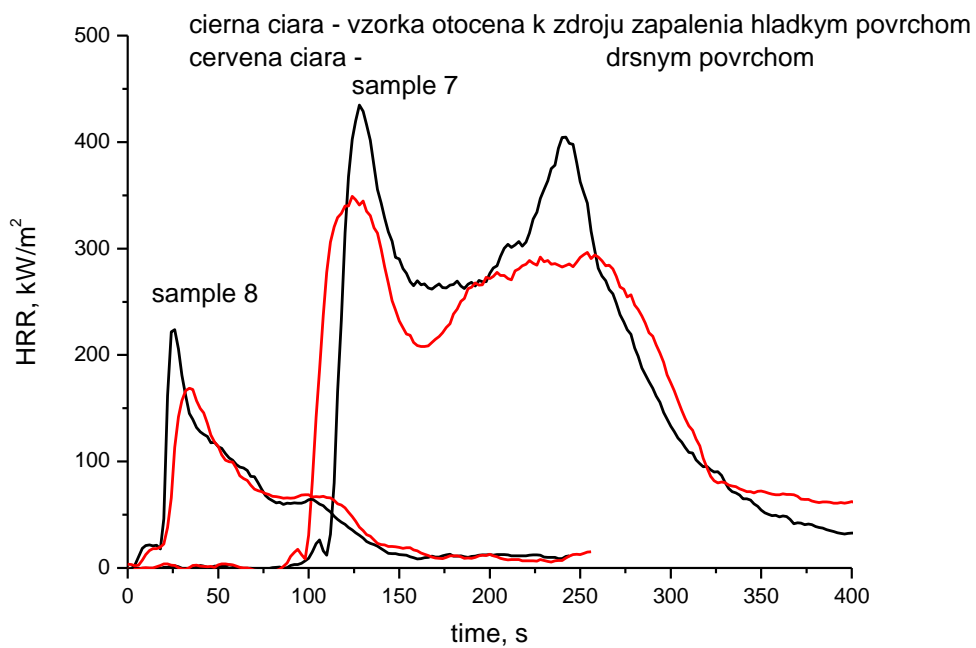
Obrázok 13 Priebeh vývoja HRR na vzorkách 1 a 2 s hladkým a drsným povrchom



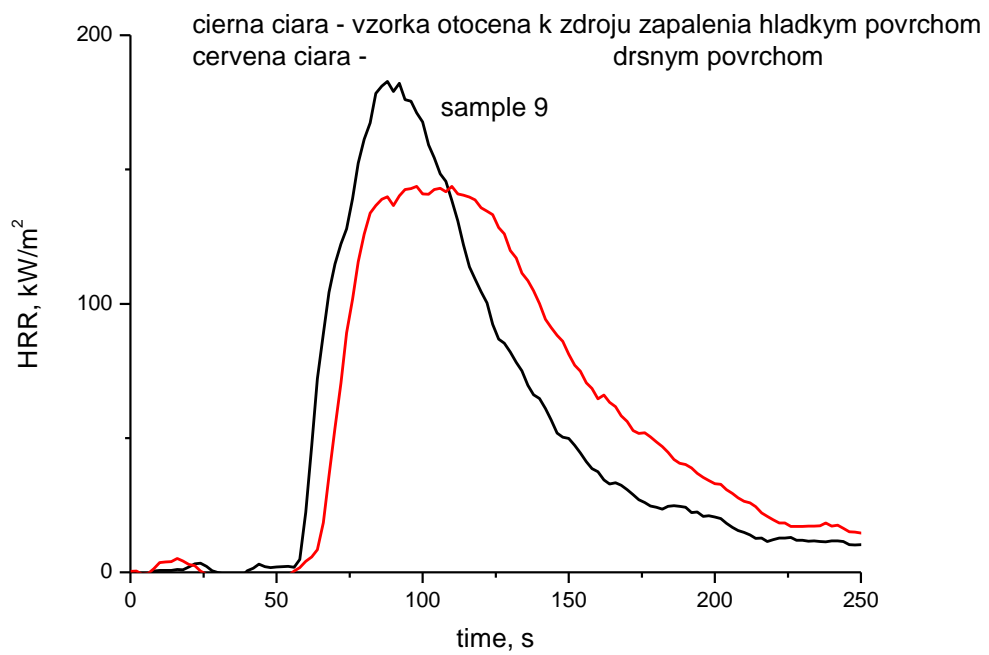
Obrázok 14 Priebeh vývoja HRR na vzorkách 3 a 4 s hladkým a drsným povrchom



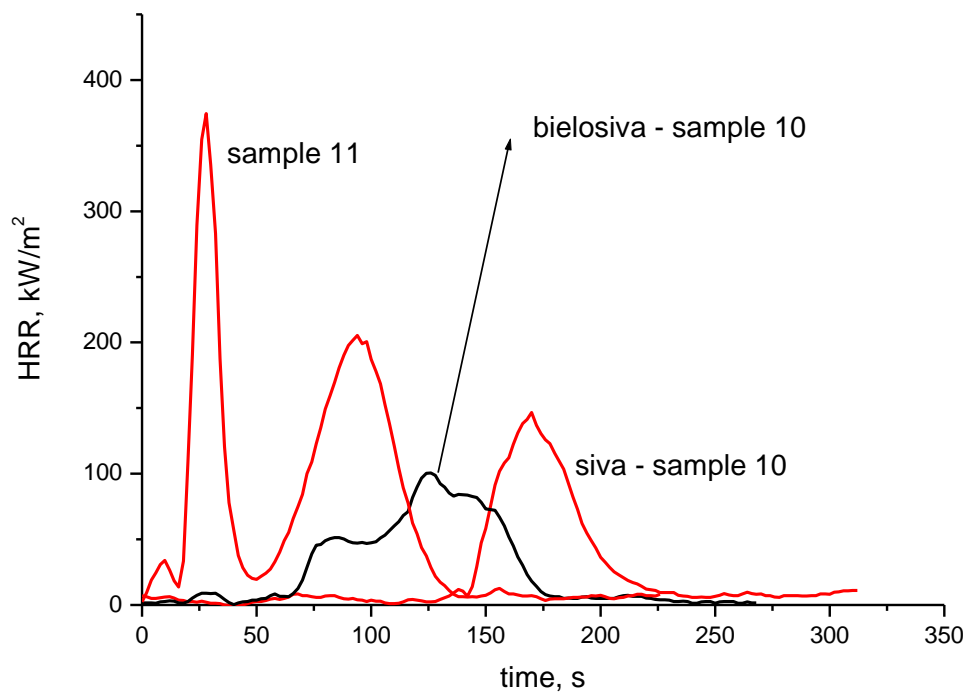
Obrázok 15 Priebek vývoja HRR na vzorkách 5 a 6 s hladkým a drsným povrchom



Obrázok 16 Priebek vývoja HRR na vzorkách 7 a 8 s hladkým a drsným povrchom



Obrázok 17 Priebek vývoja HRR na vzorke 9 s hladkým a drsným povrchom



Obrázok 18 Priebek vývoja HRR na vzorkách 10 a 11

5.2 Posúdenie rizík – SWOT analýza bezpečnosti leteckej dopravy

Zmyslom preventívnych opatrení v leteckej doprave je znižovanie rizika zranenia alebo úmrtia prepravovaných osôb. Zároveň existuje tlak na ekologickú stopu leteckého priemyslu, znižovanie emisií za súčasného zvyšovania bezpečnostných štandardov. Na bezpečnosť leteckej dopravy a tým aj na možnosť vzniku požiaru vplývajú rôzne interné ako aj externé faktory. SWOT analýza sa delí na analýzu interných faktorov a vonkajších faktorov.

V tabuľke 11 SWOT analýzy zámerne neuvádzame medzi silné stránky dlhodobú tradíciu alebo rozvinutú infraštruktúru, keďže v porovnaní s cestnou alebo železničnou prepravou nejde o komparatívnu výhodu. Všetky uvedené položky sú vo vzťahu k bezpečnosti a sú vždy porovnávané s inými druhmi prepravy (železničná a cestná).

Silné stránky znamenajú komparatívnu výhodu s ostatnými typmi prepráv a slabé stránky zase nevýhodu v porovnaní s konkurenčnými typmi prepráv. Slabé stránky bezpečnosti leteckej prepravy sa snažia výrobcovia a majitelia leteckých spoločností postupne eliminovať v rámci kapitálových možností. Investície do bezpečnosti a efektivity premávky sú prioritné.

Silnou stránkou leteckej prepravy je jednak veľmi nízka nehodovosť, kvalita používaných materiálov, implementácia progresívnych kompozitných materiálov, ktoré zároveň znižujú hmotnosť a tým aj ekologickú záťaž.

Slabou stránkou je najmä vysoké riziko zranenia pri LN a VI ako aj tepelná rezistencia plastových polymérov. V prípade požiaru zostáva veľmi krátky čas na bezpečnú evakuáciu, podmienenú úspešným núdzovým prístátím.

Tabuľka 11 SWOT analýza bezpečnosti leteckej dopravy

Silné stránky	Slabé stránky
<p>Najnižšia nehodovosť na prepravené osobo-km;</p> <p>Najvyššia kvalita materiálov;</p> <p>Vysoké investície do vývoja bezpečných materiálov;</p> <p>Implementácia odolnejších komponentov;</p> <p>Komunikácia bezpečnostných pokynov;</p> <p>Bezpečnostné opatrenia na letiskách;</p> <p>Zníženie celkovej hmotnosti lietadiel a zvýšenie účinnosti paliva pri použití kompozitných materiálov;</p> <p>PE a PP vlákna vysoká odolnosť voči oderu, vysoká pevnosť, elasticita, rozťažnosť;</p>	<p>Vysoké riziko ťažkého zranenia pri nehode;</p> <p>Vysoká úmrtnosť pri nehodách;</p> <p>Vysoké riziko požiaru pri CFIT;</p> <p>Nákladná infraštruktúra;</p> <p>Vysoké prevádzkové náklady;</p> <p>V prípade požiaru v letovej hladine – veľmi obmedzený priestor na adekvátnu reakciu;</p> <p>Termoplasty sa pri zohriatí môžu roztaviť;</p> <p>PE a PP vlákna sú ľahko zapaliteľné;</p> <p>Vplyv emisií horenia PE a PP na ľudský Organizmus;</p> <p>Tepelná degradácia polymérov;</p>
Príležitosti	Hrozby
<p>Dlhodobo rastúci dopyt po leteckej preprave;</p> <p>Testovanie nových kompozitných materiálov;</p> <p>Implementácia nových kompozitných materiálov;</p> <p>Využívanie simulátorov požiarov pri výcviku posádky;</p>	<p>Teroristické útoky;</p> <p>Sabotáže;</p> <p>Nedostatok kvalifikovaných členov; posádky;</p> <p>Porušovanie bezpečnostných predpisov cestujúcimi;</p> <p>Štrajky zamestnancov letísk a leteckých spoločností;</p>

Pozornosť by sa mala venovať najmä príležitostiam na zvyšovanie bezpečnosti vďaka rastúcemu trendu o leteckú prepravu a to testovaním nových materiálov a ich implementácii, simulačným tréningom krízových situácií pre posádky lietadiel. Aktuálnou hrozbou sú štrajky zamestnancov ako aj nedisciplinovanosť cestujúcich a neustálou hrozbou sú teroristické útoky. Bezpečnostné hrozby ako teroristické útoky sú zároveň príležitosťou ďalšieho rozvoja bezpečnosti.

6 DISKUSIA

Z hľadiska identifikácie rizikových faktorov štatistiky leteckých nešťastí poukazujú na dominanciu ľudského faktora, ktorý je nasledovaný technickými zlyhaniami a vplyvom počasia. Tzv. efekt Švajčiarskeho syra resp. ementálový efekt vylučuje závery o jednej príčine nešťastia, pričom požiar hrá veľmi závažnú úlohu. Takmer vždy sa jedná o súhrn nepriaznivých okolností, rozhodnutí a zlyhaní. Z hľadiska letovej fázy sa najviac nešťastí deje pri pristávaní, na druhom mieste je let v letovej hladine. Zvládanie krízových situácií za prítomnosti požiaru je obzvlášť náročné a to pri malých ako aj veľkých lietadlách. Mechanické chyby alebo poruchy senzorov môžu vyvolať sériu ďalších chýb zo strany posádky. Vysoko rizikové je najmä zadymenie priestoru kabíny a z toho vyplývajúca znížená viditeľnosť a obmedzenie riadiacich schopností pilota.

6.1 Diskusia k pracovným hypotézam

Zisťovanie príčin LN a požiaru považujeme za vysokoodbornú činnosť, ktorej hlavným výstupom je objasnenie príčin, ktoré viedli k LN alebo VI teda k vzniku požiaru na palube lietadla.

K stanoveným hypotézam sa na základe zistených teoretických a praktických skutočností možno vyjadriť nasledujúcim spôsobom.

H1: Pri horení niektorých leteckých materiálov dochádza k vzniku toxických splodín. Zloženie je závislé predovšetkým na chemickej štruktúre spaľovaného materiálu.

Polymérové kompozity tvoria významnú zložku materiálov použitých pri konštrukcii lietadiel. Používajú sa rôzne typy podľa ich úžitkových vlastností. Nachádzajú sa najmä v interiéroch lietadiel, kde plnia niekoľko funkcií. Ide o kryty okien, odkladacie priestory pre príručné batožiny, kryty na sedadlách,

vnútorné panely interiérov, podlahové materiály, časti sedadiel, opierky, toalety. V kokpíte na prístrojovej doske, manipulačné vozíky atď. V neposlednom rade sú polymérovými kompozitmi chránené aj kabeláže resp. elektrické vedenie.

Medzi najčastejšie používanými polymérovými materiálmi sa nachádzajú polyolefíny a to najmä polyetylén a polypropylén. Vyskytujú sa v rôznych modifikáciách, častokrát s naviazanými chemickými retardantmi horenia. Práve tieto materiály pre ich častý výskyt sme považovali za vhodné pre testy požiaro-technických vlastností na kónickom kalorimetri.

Tento predpoklad bol dokázaný nielen na základe študijných materiálov ale tiež na základe praktických pokusov na kónickom kalorimetri. Pri testovaní retardovaných olefínových polymérov PE a PP na kónickom kalorimetri sa uvoľňovalo množstvo dymu. Kónický kalorimeter však neslúži na detailnú analýzu chemického zloženia spalín. Chemické zloženie sa získava technikou FTIR (Infračervenou spektroskopiou s Fourierovou transformáciou), ktorá sa používa na získanie infračerveného spektra absorpcie alebo emisie tuhých látok, kvapalín alebo plynov. Výsledkom FTIR meraní je chemické zloženie látok, ktoré sa uvoľňujú pri horení vzorky.

Pre zdravie človeka v prostredí zasiahnutom požiarom polyolefínových polymérov je podstatné zloženie splodín. Veľmi nebezpečná je fáza tlenia resp. termickej oxidácie, pri ktorej sa uvoľňuje množstvo toxických uhl'ovodíkov, ktoré priamo ohrozujú život človeka. Bolo vedecky dokázané, že pri požiaroch zabíja dym v oveľa väčšej miere ako samotné teplo. Obeti požiaru zomierajú väčšinou nie na popáleniny ale na zadusenie sa splodinami požiaru. Z tohto dôvodu sme sa venovali aj účinkom splodín horenia polyetylénu a polypropylénu na ľudský organizmus. Konkrétne CO, CO₂, acetón, ketóny, formaldehydy a ďalšie dominantné produkty termickej oxidácie a termolýzy. Pri porovnaní procesu

termolýzy a termickej oxidácie zistíme, že termická oxidácia t.j. tlenie je spojené s uvoľňovaním širokého spektra uhľovodíkov vrátane aromatických. Z toho dôvodu je táto fáza kritická pre všetky osoby nachádzajúce sa v postihnutom priestore. Pri rozhorení požiaru sa z polymérov uvoľňuje menší počet uhľovodíkov iného typu ako tomu je pri počiatkovej fáze, ktorá je charakteristická nedokonalým horením a uvoľňovaním veľkého množstva dymu. Z toho dôvodu je v práci uvedený ukazovateľ škodlivosti dymu tzv. index toxicity a to aj pre plastové materiály aj pre dva druhy dreva pre porovnanie škodlivosti splodín horenia spomínaných materiálov.

V prípade PE sa v prvej fáze horenia uvoľňuje butyraldehyd, vareldehyd, propanal a acetylaldehyd. Pri rozhorení sa uvoľňuje pentén, hexán, heptén, oktán čiže jednoduchšie uhľovodíky. Pri horení PP sa dominantne uvoľňuje acetón a 2,4-dimetyl 2-heptén, ktorý pri vdýchnutí môže spôsobiť smrť. Uvedené produkty spaľovania PE a PP sú viac či menej toxické. (Účinky boli podrobnejšie popísané v predošlej kapitole). Pre ľudský organizmus sú produkty toxické.

Záver: Hypotéza H1 bola potvrdená.

H2: Vznik toxických látok je ovplyvnený radom ďalších faktorov, predovšetkým teplotou horenia a koncentráciou kyslíka v okolitej atmosfére.

Ako bolo uvedené v predošlej analýze v iniciačnej resp. propagačnej fáze horenia polymérov sa uvoľňujú zložitejšie uhľovodíky s toxickým účinkom. Pri zvýšení teploty teda po rozhorení t.j. v terminačnej fáze sa uvoľňujú jednoduchšie uhľovodíky. Množstvo faktorov sa týka samotného materiálu. Medzi významné faktory patrí chemické zloženie materiálu, množstvo materiálu, kryštalická štruktúra, opracovanie materiálu, teplota a tlak okolia, teplota iniciačného zdroja, intenzita tepelnej energie apod. Tieto faktory

ovplyvňujú samotný priebeh horenia materiálu. Zásadne platí, že pri dokonalom horení sa uvoľňuje najmenej škodlivých emisií, zatiaľčo v opačnom prípade sa uvoľňuje oveľa viac škodlivých splodín horenia.

Horenie pri nedostatočnom prístupe vzdušného kyslíka sa nazýva nedokonalým horením. Práve pri nedokonalom horení sa uvoľňuje najväčšie množstvo dymu a teda aj toxických látok, čo je typické pre iniciačnú fázu požiaru. Množstvo vzdušného kyslíka je jedným zo základných faktorov. Dôležitým faktorom nedokonalého horenia v interiéri lietadla je tiež nízka iniciačná teplota napr. pri skrate kabeláže sa vznieti izolácia elektrických vodičov.

V týchto prípadoch cestujúci alebo posádka najprv zaznamenajú štipľavý dym. Priestory s obmedzeným prístupom kyslíka v lietadle vytvárajú predpoklad pre nedokonalé horenie.

Záver: Hypotéza H2 bola potvrdená.

H3: Teoretické poznatky a laboratórne výsledky možno využiť pre riešenie reálnych situácií.

Na základe poznatkov o požari, známych zákonitostí šírenia tepla, dynamiky rozvoja požiaru, reakcie prítomných materiálov na teplo je možné vyvodiť množstvo záverov pre aplikáciu v praktických disciplínach.

Kónický kalorimeter umožňuje pracovať s rôznymi intenzitami zaťaženia materiálov tepelným tokom. Okrem získania informácií o testovanom materiáli poskytujú výsledky zo skúšok na kónickom kalorimetri možnosť pozorovať zákonitosti horenia, ktoré sú všeobecne platné pre väčšinu materiálov a látok.

Postup pri takomto skúmaní je podobný ako pri tvorbe komplexnej charakteristiky materiálu. Možno teda tiež využiť základné údaje z tabuľky alebo rýchlostí uvoľňovania tepla. Hlavné zameranie v tomto prípade ale spočíva v sledovaní reakcií materiálov na zmenu tepelného toku. Porovnávaním priebehu rýchlosti uvoľňovania tepla ale aj ďalších parametrov (hlavne parametrov sledujúcich úbytok hmotnosti, celkové uvoľnené teplo či produkciu oxidov uhlíka) možno overiť základné procesy, ktoré počas zaťaženia materiálov a látok prebiehajú.

Prvé čo si možno pri všeobecnom hodnotení výsledkov všimnúť je, že pri zmene tepelného toku, konkrétnejšie pri zvýšení tepelného zaťaženia nastávajú odlišné zmeny v hodnotách parametrov. Všeobecne tieto zmeny možno rozdeliť na tri skupiny:

- Kladná zmena – hodnoty parametrov v tejto skupine sa zvýšením zaťaženia zvýšili, čo možno pozorovať napríklad pri maximálnej a priemernej rýchlosti uvoľňovania tepla, výťažnosti oxidov uhlíka alebo celkového uvoľneného tepla a ďalších.
- Záporná zmena – hodnoty parametrov v tejto skupine sa zvýšením zaťaženia znížili. Túto skupinu reprezentujú hlavne rôzne časy skúšky, z ktorých veľká väčšina zaznamenáva zápornú zmenu.
- Nulová zmena – niektoré hodnoty parametrov sa zvýšením tepelného zaťaženia nemenia.

Výsledkom rozboru týchto zmien a sledovaním ich vývoja sú analýzy zaberajúce sa rôznymi hľadiskami horenia. Ako základné analýzy možno uviesť:

- analýza závislosti sledovaných parametrov a tepelného toku;
- predpovedanie vývoja parametrov pri netestovaných úrovniach tepelného toku.

Uvedené analýzy vytvárajú najzákladnejší obraz o zákonitostiach horenia. Ďalšími analýzami môže byť sledovanie závislosti dvoch rôznych parametrov meraných počas horenia jedného materiálu alebo sledovanie dokonalosti horenia na základe produkcie oxidov uhlíka atď. Výber konkrétnej analýzy závisí od hľadiska, z ktorého sa daný materiál posudzuje.

Okrem skúšok na kónickom kalorimetri sa bežne vykonávajú špecializované skúšky leteckých materiálov podľa ASTM (príloha). Predstavené typy testov požiarnej odolnosti špeciálne určené pre materiály a priestory v lietadlách. ASTM normy jednoduchým spôsobom definujú priebeh skúšky, čas trvania skúšky, požadovaná odolnosť, ktorá je určená dobou rezistencie. Popisy sú doplnené o dostupné fotografie a schémy týchto skúšok. Každý materiál používaný pri konštrukcii a výbave lietadiel musí spĺňať uvedené podmienky testov ASTM. Je na diskusiu do akej miery sú stanovené odolnosti dostatočné vzhľadom na pomerne časté požiare lietadiel.

Teória rizík je zameraná na prevenciu rizikových situácií ako aj na ich riešenie t.j. na pripravenosť čeliť rizikovým situáciám. Výsledky laboratórnych testov, testov modelov spolu so štatistikami leteckých nehôd, vážnych incidentov a ich príčin môžu slúžiť jednak na výpočet pravdepodobnosti, že daná riziková udalosť nastane a teda aj na nácvik reakcie posádky v simulovaných podmienkach.

Ďalej sú výsledky použiteľné vo formulácii požiadavkov na vlastnosti komponentov resp. výrobných materiálov alebo výrobných postupov. Tieto požiadavky obvykle výrobcovia lietadiel odovzdajú dodávateľom komponentov a následne vyberajú z najvhodnejšieho návrhu. Podľa publikovaných zistení takýto postup reálne funguje a úspešní subdodávatelia zvyčajne svoje riešenie

presadia u oboch najväčších výrobcov (Boeing a Airbus). Predpoklad o aplikácii záverov z laboratórnych meraní do praxe môžeme jednoznačne potvrdiť.

Záver: Hypotéza H3 bola potvrdená.

H4: Identifikáciou požiarotechnických vlastností materiálov je možné prispieť k prevencii rizík leteckých nehôd a vážnych incidentov.

Zisťovanie požiarotechnických vlastností materiálov sa zameriava na požiaro-fyzikálne charakteristiky ako je HRR, peak HRR, MARHE. Tieto veličiny spolu s časovými veličinami ako je čas iniciácie horenia, pri pôsobení predpísanej tepelnej záťaže, čas dosiahnutia peak HRR a MARHE, doba horenia materiálu a ďalšie veličiny napovedajú ako sa bude materiál správať v podmienkach požiaru. Z hľadiska prispievania daného materiálu k požiaru, dôležitým javom je náhle objemové vzplanutie (flashover), ktoré je nebezpečným požiarnym javom spolu s backdrafrom. Tieto javy môžu nastať v prípade prudkého rozhorenia materiálov v krátkom časovom úseku (flashover) alebo pri náhlom prísune vzdušného kyslíka po predchádzajúcom vyčerpaní kyslíka v priestore požiaru, keď dochádza k nasatiu vzduchu do priestoru. Tieto javy je možné simulovať pri modeloch v plnej alebo v zmenšenej mierke. Tieto nebezpečné požiarne javy sú známe pri požiaroch interiérov budov a môžu nastať aj pri požiaroch lietadla a to buď v uzavretom oddelení alebo pri otvorení lietadla pri núdzovom pristávaní.

Identifikáciou požiaro-technických vlastností materiálov sa zaoberajú jednak špecializované požiaro-technologické expertízne ústavy, skúšobné ústavy, technické univerzity, výrobcovia materiálov, výrobcovia komponentov pre letecký priemysel a samotní výrobcovia lietadiel. Motiváciou zainteresovaných

je zvýšiť bezpečnosť leteckej dopravy, minimalizovať možnosť iniciácie a rozšírenia požiaru v lietadle a tým aj vážnym incidentom a leteckým nehodám.

Vývoj kompozitových materiálov napreduje rýchlym tempom. Výrobcovia lietadiel majú k dispozícii rad nových materiálov, pri neustálom tlaku na prijateľnú cenu sa zvyšuje kvalita a znižuje celková hmotnosť lietadla. Tento trend má pozitívny dopad aj na spotrebu pohonných hmôt. Uprednostňujú sa recyklovateľné materiály. Termoplasty sa narozdiel od termosetov môžu opakovane použiť tzn. dokonale recyklovať, pričom nestrácajú svoje vlastnosti.

V kapitole 5.1 je uvedený rad nových materiálov, ktoré sa začínajú využívať pri výrobe dominantnými firmami ako je Boeing a Airbus. Pri vývoji a testovaní jednotlivých materiálov sa samozrejme zvažuje ich protipožiarna odolnosť ako jedno zo základných kritérií. Tu je nutné si uvedomiť, že polyolefínové polyméry sú horľavé aj po pridaní aditív. Retardanty horenia iba oddiaľujú začiatok vznietenia daného materiálu. Pri testovaní materiálov ošetrovaných rôznymi retardantmi sa ako najúčinnjší ukázal pri horení polyetylénu resp. najvýraznejšie zníženie rýchlosti uvoľňovania tepla vykazovali MgO a Mg(OH)₂. MgO sa ukázal tiež ako účinný retardant horenia vzoriek polypropylénu.

Polypropylén sa vo všeobecnosti zapáľuje ľahšie ako polyetylén. Teplota maximálnej rýchlosti uvoľňovania prchavých produktov vo fáze aktívneho rozkladu polyméru je pre polypropylén nižšia ako pre polyetylén (434 °C resp. 465 °C). Preto sú aj časy do zapálenia polypropylénu výrazne kratšie ako polyetylénu pri rovnakom tepelnom toku. S tým súvisia zodpovedajúce závislosti MARHE a hmotnostné úbytky počas horenia obidvoch polymérov. Ďalšia významná odlišnosť v zapálení polyetylénu a polypropylénu spočíva v závislosti času do zapálenia od počiatočného návažku polyméru. Zatiaľ čo

tento čas so zvyšujúcim sa počiatočným návažkom pre polyetylén narastá, pre polypropylén klesá.

Každá prísada s polyolefínom použitá vo väčšom množstve súčasne mení tepelnú vodivosť polymérnej taveniny, čo sa odrazí v čase do zapálenia.

Predpoklad využiteľnosti výsledkov testovania požiarnej vlastností materiálov v praxi je postavený na komunikácii s výrobcami jednotlivých testovaných materiálov interiéru a poukázaní najmä na emisiu toxických plynov z bežných olefinových polymérov akým je PE a PP.

Pri formulovaní požiadaviek na letecké materiály by sa z hľadiska uvedených zistení malo zvážiť väčší dôraz na správanie sa materiálu pri bezplamennom horení resp. pri jeho tlení a uvoľňovanie dymu. Niektoré látky vo forme retardantov horenia síce potlačujú začiatok vzplanutia ale zároveň evokujú uvoľňovanie veľkého množstva dymu, ktoré je kritické. Posádka má na núdzové pristátie iba niekoľko minút od momentu detekcie požiaru resp. dymu. Po pár minútach je možné, že posádka pre hustý dym (napr. z elektrického vedenia), nebude schopná ovládať zdroj, ak okamžite nepoužije ochranné pomôcky.

Záver: Hypotéza H4 bola potvrdená.

6.2 Preventívne opatrenia na znižovanie rizík LN a VI

Pre zdravie človeka v prostredí zasiahnutom požiarom polyolefínových polymérov je podstatné zloženie splodín. Veľmi nebezpečná je fáza tlenia resp. termickej oxidácie, pri ktorej sa uvoľňuje množstvo toxických uhl'ovodíkov, ktoré priamo ohrozujú život človeka. Bolo vedecky dokázané, že pri požiaroch zabíja dym v oveľa väčšej miere ako samotné teplo. Obeti požiaru zomierajú väčšinou

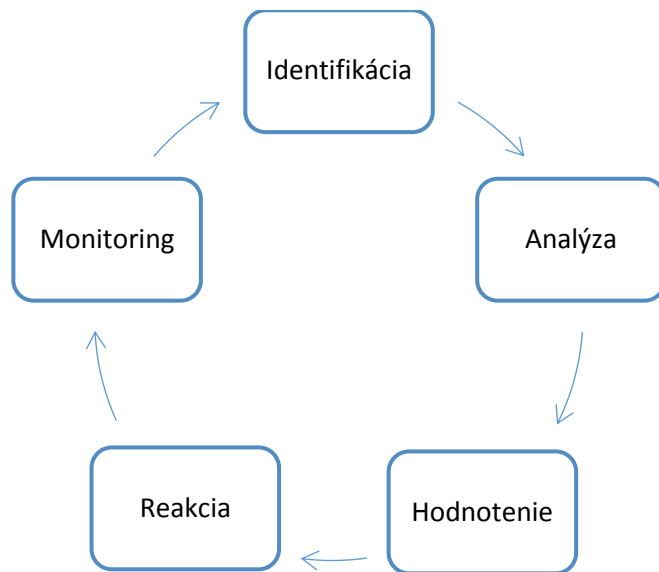
nie na popáleniny ale na zadusenie sa splodinami požiaru. Z tohto dôvodu sme sa venovali aj účinkom splodín horenia polyetylénu a polypropylénu na ľudský organizmus. Konkrétne CO, CO₂, acetón, ketóny, formaldehydy a ďalšie dominantné produkty termickej oxidácie a termolýzy. Pri porovnaní procesu termolýzy a termickej oxidácie zistíme, že termická oxidácia t.j. tlenie je spojené s uvoľňovaním širokého spektra uhľovodíkov vrátane aromatických. Z toho dôvodu je táto fáza kritická pre všetky osoby nachádzajúce sa v postihnutom priestore.

Pri rozhorení požiaru sa z polymérov uvoľňuje menší počet uhľovodíkov iného typu ako tomu je pri počiatkovej fáze, ktorá je charakteristická nedokonalým horením a uvoľňovaním veľkého množstva dymu. Z toho dôvodu je v práci uvedený ukazovateľ škodlivosti dymu tzv. index toxicity a to aj pre plastové materiály aj pre dva druhy dreva pre porovnanie škodlivosti splodín horenia spomínaných materiálov.

Posúdenie rizík má byť východiskom pre reakciu a teda preventívne opatrenia. Z hľadiska postupu možno uplatniť nadväznosť znázornenú schematicky na grafe (obrázok 19). Posúdenie rizík spočíva v troch fázach:

- identifikácie;
- analýzy;
- hodnotenia rizík.

Nasleduje preventívna reakcia na základe zistení a neustály monitoring situácie a najmä rizikových faktorov.⁽²⁹⁾



Obrázok 19 Cyklus manažmentu rizík podľa ISO 31000⁽²⁹⁾

Na základe vlastného štúdia videozáznamov rozhovorov s cestujúcimi, ktorí prežili letecké katastrofy, pád a následný požiar lietadla, možno poznatky zhrnúť do nasledujúcich bodov, ktoré môžu zvýšiť šancu na prežitie:

Z pohľadu pasažiera:

1. Zapamätať si kde je najbližší núdzový východ. Treba počítať že pri páde sa všetky rady zdeformujú. Nízka viditeľnosť umožní pohyb iba po kolenačky pri zemi.
2. Oblečenie by malo byť prírodné, bavlnené, vlnené, nie syntetické. Kapucňa môže ochrániť tvár pred popáleninami.
3. Pred pádom lietadla zaujmite bezpečnostnú polohu – embryo, ktorá chráni hlavu a chrbticu.
4. Po páde nastane ticho. Nečakajte na pokyny. Požiar sa šíri veľmi rýchlo. Rýchle opustenie lietadla je kľúčové pre prežitie. Zakryte si tvár a presuňte sa čo najrýchlejšie k najbližšiemu východu. Opustite lietadlo a vzdialte sa do bezpečnej vzdialenosti. Počítajte, že vrak lietadla môže ešte explodovať.
5. Privolajte pomoc! Ak je to možné, poskytnite pomoc ostatným cestujúcim a posádke.

Pravdepodobnosť prežitia pádu lietadla alebo núdzového pristátia je vyššia ako sa všeobecne domnievame. Avšak mnoho ľudí doplatí na pasivitu v rozhodujúcej fáze po vypuknutí požiaru.

Z pohľadu výcviku posádky:

1. Oboznámiť posádku so známymi príčinami požiarov počas letu.
2. Návčik použitia hasiacich prístrojov a navigácie pri dyme v kabíne lietadla.
3. Absolvovať praktické simulačné školenie na trenažéri požiaru pre Boeing 737 alebo Airbus 320 (napr. BAA centrum vo Vilniuse).

Z pohľadu výrobcu lietadiel:

1. Používanie odolnejších kovových súčiastok pri konštrukcii motora.
2. Používanie rezistentných kompozitov v interiéri lietadla.
3. Minimalizovanie rizika obnaženia elektrického vedenia.
4. Vykonávanie požiarnych skúšok interiérových materiálov so zameraním na vývoj dymu.

7 ZÁVER

Z hľadiska bezpečnosti je letecká doprava v pomere na počet prepravených cestujúcich najbezpečnejším spôsobom prepravy na svete. Avšak letecké havárie sú väčšinou právom nazývané ako letecké katastrofy. Percentuálny počet preživších pasažierov alebo členov posádky je veľmi nízky, v mnohých prípadoch nulový.

Zisťovanie príčin LN a VI vrátane požiaru lietadla patrí medzi najťažšie vyšetrovateľské disciplíny, z dôvodu zložitosti požiaru, ktorý sa javí ako komplexný fenomén a taktiež z dôvodu obťažnosti získavania dôkazného materiálu, ktorého prevažná väčšina býva práve požiarom znehodnotená až zničená. Inšpektor Ústavu musí mať odborné vedomosti a praktické skúsenosti, ktoré sú nevyhnutné pre správne stanovenie príčiny požiaru. Zisťovanie príčin LN a I je vysoko odborná činnosť zameraná na zisťovanie príčin LN a I, dôvodov a spôsobov. Jej súčasťou je vedenie štatistiky, ktorá je v spojení s poznatkami o konkrétnych príčinách využívaná pre tvorbu noriem na úseku požiarnej ochrany. Na základe záverečnej správy je prípadne vyvodzovaná právna zodpovednosť konkrétnych osôb za vznik daného požiaru. Práca odborných zisťovateľov príčin požiaru pri leteckých nehodách má svoje špecifiká, ktoré sa týkajú zdrojov dát, použitých materiálov a častokrát nulový počet svedkov.

V diskusii k pracovným hypotézam na základe výsledkov práce prezentovaných v kapitole 5 došlo k potvrdeniu stanovených predpokladov vo všetkých štyroch prípadoch. Naplnenie týchto predpokladov bolo čiastočne zrejmé pri spracovaní súčasného stavu problematiky.

Výsledky práce je potrebné vnímať v kontexte znižovania rizika požiaru na palube lietadla a tým aj znižovania rizika LN alebo VI. Skúmanie materiálov, požiarnotecnické skúšky rovnako ako popis účinkov požiaru a najmä splodín

horenia na ľudský organizmus úzko súvisí so snahou o zvýšenie bezpečnosti leteckej prepravy. Používaním materiálov s vyššou požiarnou odolnosťou a to najmä na elektroinštalácii, motoroch a v interiéroch lietadiel výrazne zníži riziko vzniku požiaru v letovej fáze. Porovnávaním požiarno-technických vlastností používaných ako aj vyvíjaných kompozitných materiálov získavame možnosť redukovať riziko vzniku požiaru a teda eliminujeme riziko VI alebo LN.

Proces posudzovania rizík má byť logicky nasledovaný reakciou, ktorej súčasťou je prijatie príslušných preventívnych opatrení, či už na strane výrobcu, leteckej spoločnosti alebo poučenia posádky a pasažierov.

Existuje niekoľko užitočných odporúčaní a rád od tých, ktorí prežili leteckú nehodu, v mnohých prípadoch boli jedinými, ktorí prežili. Ide o model správania v krízových situáciách. Pasažier alebo člen posádky musí pri núdzovom pristáti čeliť dvom typom ohrozenia života. Jednak ide o silný náraz, ktorý má väčšinou devastačné účinky na interiér ako aj na cestujúcich a posádku. Náraz je spojený s únikom paliva a následným požiarom vysoko-horľavej zmesi. Tu je rozhodujúci čas, za aký sa podarí preživším opustiť lietadlo pred úplným pohltením lietadla požiarom.

Ideálnym riešením je prevencia leteckých nešťastí. Bezpečnostné požiadavky sa snažia zabrániť zlyhaniu mechanických alebo elektronických častí. Obzvlášť nebezpečné je zlyhanie motorov. Ďalším rizikovým faktorom je zlyhanie elektronických ukazovateľov. Veľmi často je príčinou alebo jednou z príčin nešťastia nesprávna reakcia pilota resp. zlyhanie v kritickom momente.

Letecká doprava je rýchlo sa rozvíjajúce odvetvie najmä po technickej stránke. Hlavný dôraz je kladený na bezpečnosť a súčasne na ekonomiku prevádzky. S tým súvisí vývoj nových materiálov, ktoré postupne nahrádzajú staré ťažké materiály. Presadzujú sa najmä kompozitné materiály. V leteckých motoroch sa

nachádzajú titánové zliatiny. Hliníkové pláty boli nahradené kompozitnými materiálmi. Hliníku sa nachádza v lietadle iba 10 % a to takmer výlučne ako jadro resp. voština sendvičových panelov. Kompozity tvoria 50 % všetkých materiálov použitých pri výrobe lietadla. Ide o kovové ale najmä o plastové kompozity.

Na základe skúseností a informácií získaných pri spracovaní diplomovej práce, by som odporúčal pri vývoji nových polymérových kompozitných materiálov zamerať sa na redukciu tlenia týchto materiálov ako aj na analýzu uvoľnených splodín v prvotnej fáze termooxidácie, kedy dochádza k uvoľňovaniu životu-nebezpečných plynov. Výrobcovia by mali mať na pamäti, že práve splodiny sú najčastejšou príčinou úmrtia pri požiaroch. Z tohto pohľadu retardácia horenia toxickými retardantmi ešte zvyšuje pravdepodobnosť úmrtia pri požiaroch.

8 ZOZNAM POUŽITÝCH ZKRATIEK

ARDS	Syndróm akútnej respiračnej tiesne
ASTM	American Society for Testing and Materials
ATC	Riadenie letovej prevádzky (Air Traffic Control)
ATM	Usporiadanie letovej prevádzky (Air Traffic Management)
CFIT	Riadený let do terénu (Controlled Flight Into Terrain)
CVR	Zapisovač hlasu v pilotnej kabíne (Cockpit Voice Recorder)
EHC	Efektívna výhrevnosť (Effective Heat of Combustion)
ILR	Zvyšok horľavých kvapalín (Ignitable Liquids Residue)
FDR	Zapisovač letových údajov (Flight Data Recorder)
FIS	Letová informačná služba (Flight Information Service)
FST	Flame, smoke, toxicity (plameň, dym, toxicita). Zaužívaná skratka označujúca odolnosť, vývoj dymu a toxicity v medziach ASTM noriem požiarnej bezpečnosti materiálov
GPWS	Systém signalizácie blízkosti zeme (Ground Proximity Warning System)
GŘ HZS	Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru
HRR	Rýchlosť uvoľňovania tepla (Heat Release Rate)
I	Incident
VI	Vážny incident
LN	Letecká nehoda
m	hmotnosť
MSAW	Výstraha na minimálnu bezpečnú nadmorskú výšku (Minimum Safe Altitude Warning)
OSU	kompatibilita s normou pre rýchlosť uvoľňovania tepla, ktorú vydala Ohio State University
PE	Polyetylén
Peak HRR	Peak of heat release rate - maximálna rýchlosť uvoľňovania tepla

PP	Polypropylén
ŘLP ČR	Řízení letového provozu ČR= český ekvivalent ATM
TG	Termogravimetria
DSC	Diferenčná snímacia kalorimetria
LKČ	Limitné kyslíkové číslo
MARHE	Maximálna rýchlosť emisie tepla (maximum average rate of heat emission)
TSR	Celkové množstvo uvoľneného dymu (Total smoke release)
ÚCL	Úřad pro civilní letectví
ÚZPLN	Ústav pro odborné zjišťování příčin leteckých nehod

9 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY

1. BAAA. *Statistics* [cit. 2018-11-01]. Dostupné z: <https://www.baaa-acro.com/statistics>
2. FLIGHT DECK FRIEND: *Why do aircraft crash? A look at the statistics behind plane accidents.* ISSN 2327-8521 [cit. 2019-01-27] Dostupné z: <https://www.flightdeckfriend.com/ask-a-captain/why-do-planes-crash/>
3. RAUDENSKÝ, M.: *Co dělat když... Nastane v letadle požár.* [cit. 2019-01-30] <https://www.aeroweb.cz/clanky/4011-co-delat-kdyz-nastane-v-letadle-pozar>
4. AVIATION24.BE: *Saha Airlines Boeing 707 crashes at Fath Airport, Iran – Several casualties.* ISSN 1215-7445 [cit. 2019-01-27] Dostupné z: <https://www.aviation24.be/airlines/saha-airlines/saha-airlines-boeing-707-mistakenly-lands-at-fath-airport-iran/>
5. MINISTERSTVO DOPRAVY ČR: *Ročenka dopravy 2017.* ISSN 1801-3019
6. EL GHANY, M. A.. *The five most common reasons for airliner disasters.* Reuters 2015. ISSN 2515-5225 Dostupné z: <http://theconversation.com/the-five-most-common-reasons-for-airliner-disasters-50100>
7. SKYBRARY *Fire in the Air.* ISSN 1784-025X [cit. 2019-01-30] Dostupné z: https://www.skybrary.aero/index.php/Fire_in_the_Air#Definition
8. DAMEC, J. *Protivýbuchová prevence.* OSTRAVA: Edice Spektrum SPBI, 1998, 188 s. ISBN 80-86111-21-0.
9. ÚSTAV PRO ODBORNÉ ZJIŠŤOVÁNÍ PŘÍČIN LETECKÝCH NEHOD *Metodická směrnice pro přípravu a organizaci zjišťování příčin leteckých nehod a incidentů v civilním letectví.* Dostupné z: <http://www.uzpln.cz/upload/Pov%C4%9B%C5%99en%C3%AD/P%C5%99edpisy/METODICK%C3%81%20SM%C4%9ARNICE%20LN%20BRO%C5%BDURA%20%5B3.0%5D.pdf>

10. STANDRIDGE, M.: *Aerospace materials — past, present, and future*. *Aerospace and Manufacturing Design* 13-08-2014. ISSN: 2250-3153. Dostupné z: [cit. 2018-01-30].
<https://www.aerospacemanufacturinganddesign.com/article/amd0814-materials-aerospace-manufacturing/>
11. HALE, J.: *Boeing 787 from the ground up*. ISSN 2359-4745. [cit. 2018-01-30]. Dostupné z:
https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_4_06/article_04_1.html
12. PTEÚ MV SR: *A White paper – Fire research.*: PTEÚ MV SR máj 2002. ISBN 978-8-0534-25
13. HUDÁKOVÁ, M.: *Vplyv prísad na horenie polyolefínov*. Dizertačná práca. Ústav polymérov Slovenskej akadémie vied. Bratislava 2018
14. DUPONT. *DuPont™ Tedlar® polyvinyl fluoride (PVF) General properties* [cit. 2019-01-27] Dostupné z:
http://www.dupont.com/content/dam/dupont/products-and-services/membranes-and-films/pvf-films/documents/DEC_Tedlar_GeneralProperties.pdf
15. BLACK, S.: *Advanced materials for aircraft interiors*. *Composites World*. 11-01-2006. ISSN 2536-5252 [cit. 2019-01-27]. Dostupné z:
<https://www.compositesworld.com/articles/advanced-materials-for-aircraft-interiors>
16. BASF: *Cabin Interiors for Aerospace* [cit. 2019-01-27]. Dostupné z:
<https://aerospace.basf.com/cabin-interiors.html>
17. BAUMRUK, M.: *Kompozitové materiály v leteckém prŕmyslu v ĀR*. Ústav Automobilŕ, kolejovŕch vozidel a letadlovŕ techniky. 2006. ISBN 978-80-1999-12

18. TUREKOVÁ, I.: *Vysokoteplotná degradácia materiálov na báze dreva a stanovenie vybraných požiarnebezpečnostných charakteristík*. STU 2007. ISBN 978-80-8096-024-7
19. BALOG, K., ZAPLETALOVÁ, I. *Základy toxikológie*. Ostrava: Edice Spektrum SPBI, 1998, 107 S. ISBN 80-86111-29-6.
20. RYCHLÝ, J.: *Príspevok k štúdiu vznietenia a horenia polymérov*. DDP. Bratislava, 1995, 103 s.
21. GORMSEN, H., JEPPESEN, N., LUND, A.: *The causes of death in fire victims*. Forensic Science International. Feb;24(2):107-111. 1984 Elsevier Ireland. DOI: 10.1016/0379-0738(84)90090-2
22. ŠIBOR, J.: *Toxicita a rizika*. Dostupné z: [cit. 2019-01-30]. <<https://educoland.muni.cz/down-265/>
23. SCHWETZ. *Developmental toxicity of inhaled methyl ethyl ketone in Swiss mice*. *Fund. Appl. Toxicol.* 1991, roč. 16, s. 742–748. ISSN 0272-0590
24. BALOG, K Samovznietenie. SPBI Spektrum Ostrava: 1999. ISBN 80-86111-43-1.
25. HARTE, J., HOLDREN, C., SCHNEIDER, R., SHIRLEY, Ch.: *Toxics A to Z, A Guide to Everyday Pollution Hazards*. University of California Press, 1991. ISBN: 978-05-2007-2244
26. BIBRA, J.: *Toxicity profile for Valeraldehyde*. ISSN 4612-0115 Dostupné z: <https://www.bibra-information.co.uk/downloads/toxicity-profile-for-valeraldehyde-1988/>
27. PUBCHEM: 2,4-Dimethyl-1-heptene [cit. 2019-01-30] Dostupné z: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2_4-Dimethyl-1-heptene#section=GHS-Classification&fullscreen=true
28. SIKORA, A.: *Toxikologie zplodin hoření*. Thesis. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2007.
29. PASTOR, J.: *Langenbeck's medical web page* [online]. [cit. 2018-01-30] Dostupné z: <https://langenbeck.webs.com/>

30. STAUFFER, E. *A review of the analysis of vegetable oil residues from fire debris samples: Spontaneous ignition, vegetable oils, and the forensic approach*, *Journal of Forensic Sciences*, 2005. pp. 109-115. DOI: 10.1111/j.1556-4029.2006.00220.x
31. ISO 31000 ISO/DIS 31000 *Risk management — Principles and guidelines on implementation*. International Organization for Standardization. 2009
32. BUZALKA, J., MÜLLEROVÁ, J. *RM/RA CRAMM – New methodology for crisis management*. Security forum, UMB Banská Bystrica, Slovakia, 2015. ISSN (online) 2335-7959. DOI: 10.33605/croma-012018-001

10 ZOZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKOV

Obrázok 1 Efekt Švajčiarskeho syra	14
Obrázok 2 Požiar malého lietadla po núdzovom pristátí	20
Obrázok 3 Havária po núdzovom pristátí Boeingu 707 v Iráne	167
Obrázok 4 Vývoj počtu leteckých nehôd globálne.....	20
Obrázok 5 Vývoj počtu obetí leteckých nehôd globálne	190
Obrázok 6 Boeing 747 po havárii pri vzlete zo Santa Cruz de Tenerife.....	212
Obrázok 7 Podiel materiálov v Boeingu 787-8 Dreamliner	36
Obrázok 8 Produkcia polymérov globálne za rok 2015.....	38
Obrázok 9 Ucelené súčiastky z kompozitných materiálov	42
Obrázok 10 Polymérová poťahová látka PVF.....	45
Obrázok 11 Kónický kalorimeter, PTEÚ.....	64
Obrázok 12 PE + hydroxid horečnatý $Mg(OH)_2$ pred a po teste.....	67
Obrázok 13 Priebeh vývoja HRR na vzorkách 1 a 2 s hladkým a drsným povrchom	70
Obrázok 14 Priebeh vývoja HRR na vzorkách 3 a 4 s hladkým a drsným povrchom	70
Obrázok 15 Priebeh vývoja HRR na vzorkách 5 a 6 s hladkým a drsným povrchom	71
Obrázok 16 Priebeh vývoja HRR na vzorkách 7 a 8 s hladkým a drsným povrchom	71
Obrázok 17 Priebeh vývoja HRR na vzorke 9 s hladkým a drsným povrchom	72
Obrázok 18 Priebeh vývoja HRR na vzorkách 10 a 11.....	72
Obrázok 19 Cyklus manažmentu rizík	83
Obrázok 20 Komora HVFAA na horizontálne-vertikálny požiarne test.....	100
Obrázok 21 Vertikálny Bunsenov test.....	101
Obrázok 22 Príklad aranžovania požiarneho testu lietadlového odpadkového koša.....	102
Obrázok 23 Priebeh požiarneho testu odpadkového koša.....	102

Obrázok 24 Test horľavosti sedadiel olejovým horákom.....	103
Obrázok 25 Požiarny test požiarne odolného kompozitu olejový horákom	104
Obrázok 26 Požiar a detekcia v nákladnom priestore.....	105
Obrázok 27 Test rýchlosti uvoľňovania tepla (vľavo) a hustoty dymu (vpravo)	106

11 ZOZNAM POUŽITÝCH TABULIEK

Tabuľka 1	Infraštruktúra leteckej dopravy ČR.....	177
Tabuľka 2	Prepravné výkony v leteckej doprave ČR.....	18
Tabuľka 3	Nehody v civilnom letectve ČR.....	18
Tabuľka 4	Najhoršie letecké katastrofy podľa BAAA.....	20
Tabuľka 5	Porovnanie kladov a záporov použitia termosetov a termoplastov	41
Tabuľka 6	Index toxicity vybraných látok	56
Tabuľka 7	Skúšobné podmienky Kónického kalorimetra.....	62
Tabuľka 8	Čas zapálenia/iniciácie PVC a PVC _{ret} na kónickom kalorimetri.....	64
Tabuľka 9	HRR (PVC) po 180s od zapálenia (kW.m ⁻²)	65
Tabuľka 10	Súhrnné výsledky meraní vzoriek na kónickom kalorimetri	68
Tabuľka 11	SWOT analýza bezpečnosti leteckej dopravy	74

12 ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1 ASTM Horizontálne-vertikálny požiarový test v komore.

Príloha 2 Vertikálny Bunsenov test.

Príloha 3 Skúška zablokovania požiaru.

Príloha 4 Skúška požiarnej odolnosti sedadiel olejovým horákom.

Príloha 5 Skúška olejovým horákom pre prepravu nákladu a batožiny testovacia.

metóda na stanovenie odolnosti penetrácie kabínového priestoru.

Príloha 6 Požiarová odolnosť tepelno-akustického izolačného materiálu.

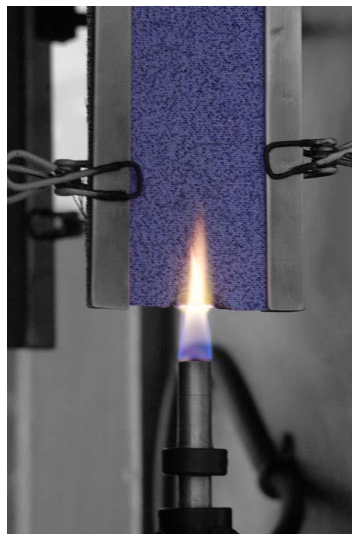
Príloha 1 Horizontálne-vertikálny požiarový test v komore



Obrázok 20 Komora HVFAA na horizontálne-vertikálny požiarový test

Príloha 2 Vertikálny požiarový test Bunsenovým horákom

- Čas zapalovania 12 s;
- Čas hasenia max. 15 s;
- Dĺžka horenia max. 20 cm ;
- Doba hasenia max. 3 s;
- Min. teplota plameňa 843 °C;
- Veľkosť vzorky: 76 x 306 mm;
- Počet vzoriek: 3 každá (6x pre tkaninu).



Obrázok 21 Vertikálny Bunsenov test

Príloha 3 Skúška zablokovania požiaru

Kontajner na odpadky bude testovaný tak, že hasiaci prístroj bude odstránený a všetky otvory budú utesnené hliníkovou lepiacou páskou (Obrázok 22).

Postup a materiály:

- Veko bude odkryté a nádoba otvorená.
- Použije sa táto zmes horľavín:
 - o Osem (8) papierových uterákov, 280 x 360 mm – 40 % obsahu;
 - o Päť (5) papierových utierok 320 x 330 mm – 25 %;
 - o Štyri (4) papierové poháre 0,2l až 20 %;
 - o Dva (2) papierové poháre 0,1l až 10 %;
 - o Jedna (1) prázdna škatuľka od cigariet.

Priebeh testu je zobrazený nižšie (Obrázok 23)



Obrázok 22 Príklad aranžovania požiarneho testu lietadlového odpadkového koša



Obrázok 23 Priebeh požiarneho testu odpadkového koša

Príloha 4 Skúška požiarnej odolnosti sedadiel olejovým horákom

Horák je priložený kolmo na sedadlo v predpísanej vzdialenosti (Obrázok 24).

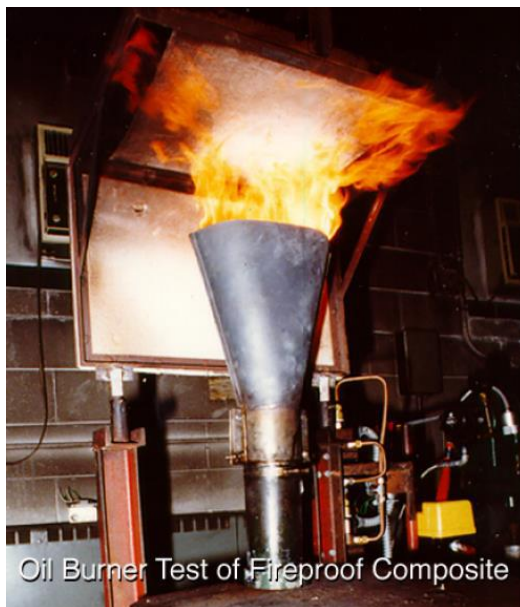
- Priemerná strata hmotnosti max. 10 %;
- Dĺžka ohorenia max. 43 cm;
- Trvanie testu: max. 2 minúty;
- Teplota plameňa 1000 °C;
- Dĺžka plameňa cca. 30 cm;
- Počet vzoriek (3x sedadlo a 3x operadlo);
- Veľkosť vzoriek sedadiel: 51 x 46 cm;
- Veľkosť vzoriek operadiel: 64 x 46 cm.



Obrázok 24 Test horľavosti sedadiel olejovým horákom

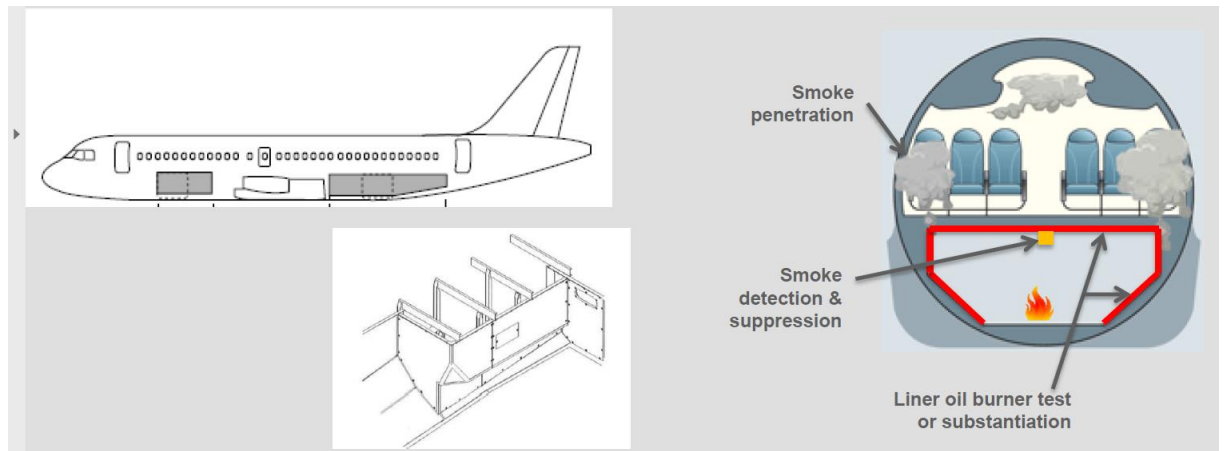
Príloha 5 Skúška olejovým horákom pre prepravu nákladu a batožiny, testovacia metóda na stanovenie odolnosti penetrácie kabínového priestoru

- Penetrácia plameňom: Do 5 minút po aplikácii zdroja plameňa nedôjde k penetrácii žiadnej vzorky plameňom (Obrázok 25).
- Najvyššia teplota: maximálna teplota meraná pri 10 cm nad horným povrchom horizontálnej skúšobnej vzorky nesmie prekročiť 204 °C;
- Doba trvania pokusu: 5 minút;
- Teplota plameňa cca 927 °C;
- Dĺžka plameňa cca. 30 cm;
- Počet vzoriek: 3 sady (bočný alebo stropný panel);
- Veľkosť vzorky: 41 x 61cm.



Obrázok 25 Požiarny test požiarne odolného kompozitu olejovým horákom

Príloha 6 Rýchlosť uvoľňovania tepla: Hustota dymu



Obrázok 26 Požiar a detekcia v nákladnom priestore

25.853 (d) - Interiéry priestorov.

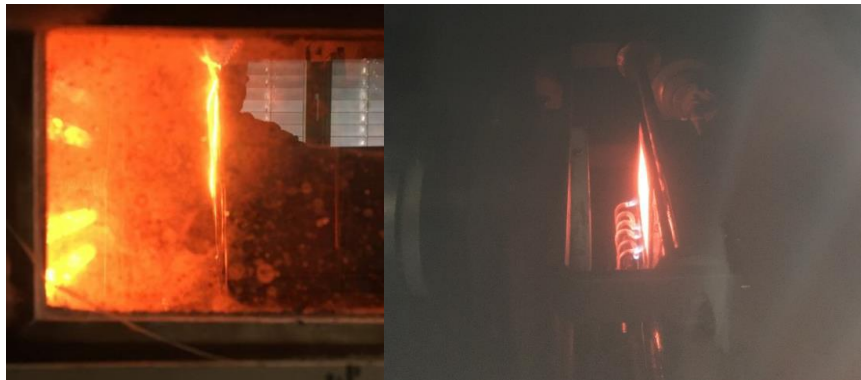
Na prierezovom obrázku je znázornený prienik dymu na palubu lietadla z batožinového priestoru. Označený je hasiaci detektor dymu a steny, ktoré sú predmetom testu penetrácie kabíny(Obrázok 26)

Vnútorne stropné a stenové panely, priečky, konštrukcia kuchyne vrátane vozíkov a kontajnerov, skrinky a odkladacie priestory kabíny pre lietadlá s kapacitou cestujúcich 20 alebo viac musia spĺňať požiadavky na rýchlosť uvoľňovania tepla (HRR) a emisie dymu. Interiéry skriniek a odkladacích priestorov, kokpitu, kuchyne, toaliet, odpočinkových priestorov posádky alebo iné neobývané priestory nemusia spĺňať požiadavky za predpokladu, že sú izolované od hlavnej kabíny pre cestujúcich dverami, ktoré by boli zatvorené počas vzletu a pristátia (Obrázok 26).

Rýchlosť uvoľňovania tepla/Hustota dymu (množstvo preneseného tepla cez panel)

- HRR max. 65 KW min/m² pri 2 min.;

- Hustota dymu max. 200 Ds/4 min.;
- Trvanie testu: 5 minút;
- Vykurovacie telesá 3,5 W/cm²;
- 1 dolný horák;
- 1 horný horák;
- Prívod vzduchu 40 l/s;
- Veľkosť vzorky pre test uvoľnenia tepla 151 x 151 mm;
- Počet vzoriek: 3 kusy;
- Veľkosť vzorky pre test hustoty dymu 75 mm x 75 mm;
- Počet vzoriek: 3 kusy.



Obrázok 27 Test rýchlosti uvoľňovania tepla (vľavo) a hustoty dymu (vpravo)