



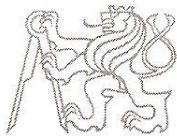
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA DOPRAVNÍ

Tomáš Michálek

PASIVNÍ BEZPEČNOST V LETECKÉ DOPRAVĚ

Bakalářská práce

**2015**



**K616.....Ústav dopravních prostředků**

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Tomáš Michálek**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**B 3710 – LED – Letecká doprava**

Název tématu (česky): **Pasivní bezpečnost v letecké dopravě**

Název tématu (anglicky): Passive safety in air transport

**Zásady pro vypracování**

Při zpracování bakalářské práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Uved'te přehled prvků pasivní bezpečnosti v konstrukci letadel a rozdělte je podle kategorií letadel.
- Uved'te statistiku dopravních nehod letadel s ohledem na nehody kolizní.
- Uved'te mechaniku nárazu letecké konstrukce pro zvolený (statisticky významný) případ kolize.
- Navrhňte konstrukci nebo změnu konstrukce prvku pasivní bezpečnosti.

Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Kovanda, J. – Šatochin, V.: Pasivní bezpečnost. Praha: Skriptum ČVUT

First, J. a kol.: Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry. Praha: S&T\_CZ\_2008

zprávy a protokoly leteckých nehod


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří First**  
**Ing. Josef Mík**

Datum zadání bakalářské práce: **26. června 2013**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **24. srpna 2015**

a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia

b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

  
.....  
doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.  
vedoucí  
Ústavu dopravních prostředků



  
.....  
prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

  
.....  
Tomáš Michálek  
jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 2. prosince 2014

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří větší, či menší mírou přispěli k vypracování této práce. Zvláště pak děkuji panu Ing. Jiřímu Firstovi a panu Ing. Josefu Míkovi za odborné vedení a konzultování bakalářské práce a zároveň rady, zkušenosti, možnosti a materiály, které mi poskytovali po celou dobu mého studia. Poděkovat chci také svým rodičům, příbuzným a blízkým, kteří mi poskytovali nejen materiální, ale hlavně morální podporu, poskytující mi důležitou motivaci při mém studiu.

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

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).

V Odolené Vodě dne 14. srpna 2015



.....  
podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

## PASIVNÍ BEZPEČNOST V LETECKÉ DOPRAVĚ

Bakalářská práce

srpen 2015

Tomáš Michálek

### ABSTRAKT

Hlavním cílem bakalářské práce „Pasivní bezpečnost v letecké dopravě“ je analyzovat aktuální stav pasivní bezpečnosti v letecké dopravě, stručně představit a popsat jednotlivá témata, prvky a další související záležitosti.

### ABSTRACT

The main point of the bachelor thesis „Passive safety in air transport“ is to analyse current situation of passive safety in the air transport, briefly introduce and describe particular topics, elements and another associated issues.

### KLÍČOVÁ SLOVA

Pasivní bezpečnost, letecká doprava, letecké nehody.

### KEYWORDS

Passive safety, air transport, airplane accidents.

## Obsah

1	Seznam použitých zkratek .....	6
2	Úvod .....	7
3	Bezpečnost v dopravě .....	8
3.1	Pasivní bezpečnost.....	8
4	Bezpečnost v letecké dopravě .....	10
5	Pasivní bezpečnost v letecké dopravě .....	13
5.1	Legislativa .....	17
5.2	Ochrana proti nárazu .....	22
5.2.1	Sedadla .....	24
5.2.2	Bezpečnostní pásy .....	25
5.2.3	Airbagy .....	26
5.3	Biomechanika poranění .....	28
5.3.1	Hodnocení AIS .....	29
5.3.2	Hodnocení ISS .....	30
5.3.3	Poranění hlavy.....	31
5.3.4	Poranění hrudníku .....	32
5.3.5	Poranění břicha .....	33
5.3.6	Poranění pánve .....	33
5.3.7	Poranění končetin.....	34
6	Významné nehody .....	35
6.1	Varšavská nehoda.....	35
6.1.1	Popis nehody.....	35
6.1.2	Důležité aspekty nehody.....	35
6.1.3	Utrpěná zranění.....	36
6.2	Kegworthská nehoda .....	37
6.2.1	Popis nehody.....	37
6.2.2	Důležité aspekty nehody.....	38
6.2.3	Sedadla .....	40
6.2.4	Utrpěná zranění.....	43
6.2.5	Důsledky nehody .....	44
7	Budoucnost pasivní bezpečnosti v letecké dopravě .....	46
7.1	Systém záchranného padáku u letadel .....	46
7.2	Systém zmírnění nárazu .....	48
7.3	Návrh, či změna konstrukce prvků pasivní bezpečnosti .....	51

8	Závěr .....	53
9	Použité zdroje .....	55
9.1	Literatura .....	55
9.2	Internetové zdroje .....	55
10	Seznam obrázků .....	59
11	Seznam tabulek .....	60
12	Seznam příloh .....	61

## 1 Seznam použitých zkratk

ABS	Anti-lock braking system
AIS	Abbreviated injury scale
APU	Auxiliary power unit
BRS	Ballistic recovery system
CAPS	Cirrus airframe parachute system
CAS	Calibrated airspeed
CVR	Cockpit voice recorder
ČR	Česká Republika
ČSA	České aerolinie
DEA	Deployable energy absorbing concept
EASA	European Aviation Safety Agency
ESP	Electronic stability program
ETSC	European Transport Safety Council
EU	European Union
FAA	Federal Aviation Administration
FDR	Flight data recorder
HIC	Head injury criterion
IATA	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organization
ISS	Injury severity score
JAA	Joint Aviation Authorities
JAAT	Viz JAA
JAR	Joint aviation requirements
LandIR	Landing and impact research facility
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NTSB	National Transportation Safety Board
OSN	Organizace spojených národů
REAPS	Rotorcraft external airbag protection system
TTI	Thoracic trauma index
TWA	Trans World Airlines
V*C	Viscous criterion



## 2 Úvod

Již od pradávnych dob lidé vzhlíželi směrem k nebesům, závidíce ptákům jejich schopnost létat. Dobře viděli výhody pohybu nad povrchem zemským a jejich fantazie jim zároveň umožňovala představovat si, co by je uprostřed nebes mohlo čekat. Kromě všemožných, často až fantaskních představ krás, které v něm viděli snílci, se však od počátku objevovalo také mnoho skeptičtějších názorů, tušících v létání řadu nebezpečností. Vzpomeňme báji ze starověkého Řecka popisující tragický příběh Ikara, syna slavného stavitele a vynálezce Daidala, který se zřítíl z nebe a zahynul, poté co neuposlechl rad svého otce.

Minulé, tedy 20. století, přineslo na svém počátku, konkrétněji týden před Vánoci roku 1903, první, pouze několik desítek metrů dlouhý let, letounu těžšího než vzduch, poháněného motorem. Průkopníci létání v těchto dobách riskovali své životy ve strojích, které měly často problémy vůbec vzlétnout. Konstrukce byly řešeny právě tak, aby byly vůbec schopny dosáhnout oblohy. S postupným rozvojem letectví, který posléze nastal, se stále častěji pozornost leteckých konstruktérů obracela i na bezpečnost. Ač již od počátku bylo hlavním cílem leteckým nehodám předcházet, s přibývajícimi roky také vzrostly šance na přežití těchto nehod. Důležitým momentem bylo vytvoření osobní letecké dopravy. Letadla od té doby již totiž nepřepravovaly pouze pilota, ale také větší množství osob, které zaplatilo za svoje bezpečné přemístění z bodu A do bodu B. Bezpečnost se tímto okamžikem stává jedním z nejdůležitějších parametrů letectví. V souladu se stále se zvyšujícími nároky na její úroveň jsou poté upravovány i jednotlivé prvky a systémy pasivní bezpečnosti, jakými jsou například sedadla a bezpečnostní pásy. Tyto dva konkrétní bezpečnostní systémy nejvyšší mírou zajišťují interakci mezi osobou a okolním, nehodovým prostředím. Mimo tyto základní systémy došlo v letectví k implementaci systémů dalších, doplňujících. Mezi ty patří například airbagy. Vhodnou kombinací dalších vylepšování systémů stávajících a zaváděním systémů nových je možno pasivní bezpečnost nadále vylepšovat.

Pokud by některý z prvních průkopníků letadlového létání měl možnost vidět, kam se letadla a například právě i jejich bezpečnost po více než století posunula, byl by zřejmě naprosto ohromen. Ovšem čas plyne dále a tak je důležité zhodnotit aktuální stav, poučit se a pokračovat v dalším vývoji tak, aby tento důležitý obor následoval nejnovější objevy, výzkumy a technologie, které jsou již od začátku úspěšně do letectví implementovány.

### 3 Bezpečnost v dopravě

„Stav, kdy je systém schopen odolávat známým a předvídatelným vnějším a vnitřním hrozbám, které mohou negativně působit proti jednotlivým prvkům (případně celému systému) tak, aby byla zachována struktura systému, jeho stabilita, spolehlivost a chování v souladu s cílovostí. Tedy míra stability systému a jeho primární a sekundární adaptace.“ Takto definují pojem bezpečnosti vládní instituce České republiky. Ve vztahu k dopravě se bezpečnost zabývá ochranou životů a majetku a to formami regulací, či řízením a vývojem bezpečnostních technologií. Její úroveň je jedním z důležitých ukazatelů vyspělosti států, ale také jednotlivých druhů dopravy. Ty se často primárně hodnotí právě dle tohoto hlediska. Vzhledem k odlišnosti například i prostředí, ve kterém přepravní činnost probíhá (pevný povrch x vodní hladina x vzdušný prostor), dochází k diferencí i v pohledu a přístupu k bezpečnosti různých dopravních prostředků. Naopak například biomechanika člověka, či shodné materiály konstrukce jsou prvky, které i při rozdílnosti varianty dopravy, zůstávají stejné, či velmi podobné. [33] [27]

Bezpečnost se podle přístupu k jejímu dosažení rozdělila na dva obory. Obor, který se zabývá prevencí samotné nehody, se nazývá bezpečností aktivní. Mezi jeho prvky patří veškeré vlastnosti, které mohou zabránit nehodě: brzdy, stabilita, schopnost akcelerace, či systémy ABS, ESP, a jiné. Pokud se již nehodě nepodařilo zabránit, v účinnost vstupují prvky pasivní bezpečnosti, druhého z oborů. [1]

#### 3.1 Pasivní bezpečnost

Všeobecně je pasivní bezpečností myšlen souhrn konstrukčních opatření s cílem ochrany pasažérů a dalších účastníků nehody před poraněními, a to ať již mechanickými nebo biomechanickými, která mohou vlivem sil a zátěží během nehody nastat. Mezi nejčastěji zmiňované a diskutované prvky této kategorie patří: bezpečnostní pásy, airbagy a konstrukce sedadel a potenciálních ploch nárazu, ať již nárazu vnější konstrukce s okolím, nebo jiným dopravním prostředkem, či nárazu části lidského těla s vnitřní konstrukcí. [1]

Téměř všechna konstrukční opatření pasivní bezpečnosti jsou v každém druhu dopravy legislativně ošetřena. Uvedení nového typu dopravního prostředku do provozu je podmíněno úspěšným splněním schvalovacího procesu, kterým se prokáže schopnost splnit určité limity a požadavky dané na základě nejčastěji mezinárodních předpisů. Testovacím procesem procházejí také i jednotlivé prvky konstrukce, například sedadla, či bezpečnostní pásy, které se často vyskytují na více typech dopravního prostředku a proto jsou testovány separátně při

procesu speciálně navrženém pro konkrétní prvek. Schvalovací proces je vyvinut a nadále se vyvíjí na základě zkušeností a znalostí mechanismů poranění, deformačních charakteristik a dalších parametrů a veličin známých z kolizí. [1]

Z hlediska mechaniky můžeme všechny zkoušky procesu rozdělit na zkoušky statické a dynamické. Zkouškami statickými označujeme například zkoušky vnitřních výčnělků těles, pevnosti a geometrie sedadel, pevnosti a geometrie kotevních úchytů bezpečnostních pásů, atp. Dynamické zkoušky zahrnují nárazy do definovaných objektů, převrácení, či zkoušky za pomoci zkušebního vozíku (na ten je umístěn zkoušený systém, nebo přímo konstrukční část a dochází k urychlení a následnému zpomalení pohybu vozíku v souladu s předpisem, či jinými požadavky). [1]

## 4 Bezpečnost v letecké dopravě

Bezpečnost letecké dopravy je jedním z nejspecifičtějších oborů celé dopravy. Její vysoký standard je výsledkem pečlivého a přesného monitorování jakýchkoliv odchylek od běžných, přísnými regulacemi určených postupů a pravidel a zároveň schopnosti okamžitě reagovat na jakoukoliv hrozbu, ohrožující bezpečnost cestujících a posádky.

Definici krizových situací v letectví nalezneme v prováděcím předpisu Annex L13 – Předpis o odborném zjišťování příčin leteckých nehod a incidentů, který je jedním z dokumentů vydaných Mezinárodní organizací pro civilní letectví (ICAO). V jeho první hlavě jsou definovány pojmy letecký incident, vážný letecký incident a letecká nehoda. Zatímco při incidentech je vliv pasivní bezpečnosti minimální, či nulový, během letecké nehody dochází k aktivaci většiny prvků ochrany a prověření jejich účinnosti, proto je dále pro tuto práci významná právě ona. Leteckou nehodou (airplane accident) je myšlena událost, při které:

1. některá osoba byla smrtelně nebo těžce zraněna následkem:
  - přítomnosti v letadle, nebo
  - přímého kontaktu s kteroukoli částí letadla, včetně částí, které se od letadla oddělily, nebo
  - přímým působením proudu plynů (vytvořených letadlem),s výjimkou případů, kdy ke zranění došlo přirozeným způsobem, nebo způsobila-li si je osoba sama nebo bylo způsobeno druhou osobou, nebo jestliže šlo o černého pasažéra ukrývajícího se mimo prostory normálně používané pro cestující a posádku; nebo
2. letadlo bylo zničeno, nebo poškozeno tak, že poškození:
  - nepříznivě ovlivnilo pevnost konstrukce, výkon nebo letové charakteristiky letadla, a
  - vyžádá si větší opravu nebo výměnu postižených částís výjimkou poruchy nebo poškození motoru, jestliže toto poškození je omezeno pouze na motor na jeden motor; vrtulí, okrajových částí křídel, antén, snímačů, lopatek, pneumatik, brzd, podvozku, aerodynamických krytů, palubní desky, krytů přistávacího zařízení, čelních skel, potahu letadla nebo nevýznamná poškození listů hlavního rotoru, listů ocasního rotoru, přistávacího zařízení a těch poškození, která jsou zapříčiněna krupobitím nebo střetem s ptákem; nebo
3. letadlo je nezvěstné, nebo je na zcela nepřístupném místě [38]

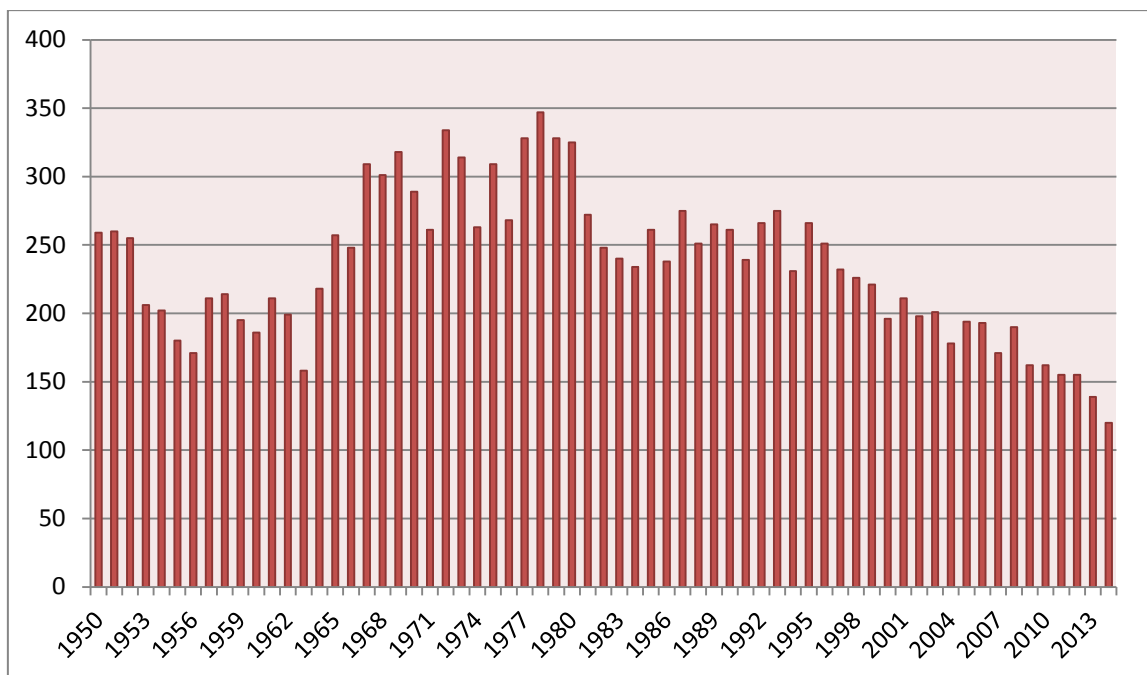
Další významnou definicí je pojem smrtelné zranění (fatal injury). Tím je jakékoli zranění vedoucí k smrti zraněného v průběhu 30-ti dní ode dne letecké nehody. I toto určení významu příslušného pojmu je zakotveno ve výše zmíněném dokumentu ICAO. Se

smrtným zraněním je spojen termín nehoda se smrtelnými následky (fatal accident). Tou je každá letecká nehoda s následkem smrtelného zranění. Ačkoliv přesné vymezení pojmu ztráta letadla (hull loss) v dokumentech ICAO chybí, je velmi často v souvislosti s bezpečností letecké dopravy využíváno. Nejčastěji je ztráta letadla charakterizována jako celkové zničení, či poškození letadla, bez jeho následné opravy. Zahrnuje také události, při kterých: je letadlo postrádáno, bylo pátrání po troskách letadla ukončeno bez jejich lokalizace a letadlo se nachází na nepřístupném místě. Stejně jako v předchozím případě i termín závažné poškození (substantial damage) postrádá svou definici od ICAO. Z pohledu americké nezávislé vyšetřovací komise pro dopravu (NTSB) závažné poškození znamená poškození, nebo selhání části letadla, které závažně ovlivňuje sílu struktury, výkon, či jeho letové charakteristiky a za normálních okolností vyžaduje větší opravu, či výměnu dotyčného komponentu letadla. [38] [45]

Leteckou dopravu můžeme rozdělit do kategorií dle mnoha kritérií. Nejčastějším dělením zpravidla bývá rozdělení na leteckou dopravu vojenskou a civilní. Civilní kategorie je celkově mnohem více transparentní a k závěrům vyšetřování leteckých nehod je poskytnut přístup široké veřejnosti, k čemuž u vojenské letecké dopravy docházet nemusí. Nejvýznamnější součástí civilní letecké dopravy je obchodní letecká doprava, poskytující přepravu osob, zboží a pošty za úplatu. Jedná se tedy o letecké aerolinie (ČSA, British Airways, apod.) a další poskytovatele těchto služeb. Součástí civilní letecké dopravy je také takzvané všeobecné letectví (general aviation), zahrnující rekreační a sportovní létání, letecké práce a letecké činnosti (pro vlastní potřeby, či potřeby státu). [10]

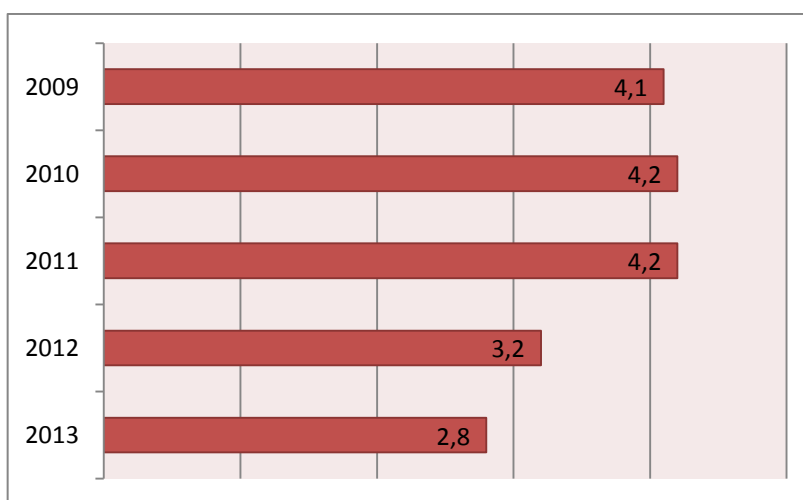
Z hlediska bezpečnosti je obchodní letecká doprava tou nejmonitorovanější (nejen leteckou) dopravou. Díky zapisovačům letových dat (FDR), záznamům zvuku z kokpitů (CVR, spolu s FDR tvoří obsah takzvaných „černých skříněk“), radarům a dalším moderním prvkům a součástí této dopravy máme naprosto přesné údaje týkající se nejen nehodovosti, ale většinou také samotných průběhů jednotlivých nehod. Z těchto dat můžeme analyzovat příčiny a souvislosti nehod a zároveň dalším zkoumáním a následnou implementací nápravných opatření omezit pravděpodobnost vzniku nehody podobných znaků.

Další z důležitých výhod přísného sledování bezpečnosti obchodní letecké dopravy je možnost vytvářet a zároveň porovnávat různé, velmi přesné statistické údaje. Nejčastěji publikovaným (a to nejenom v kategorii letecké dopravy) je bezesporu graf počtu nehod za určité období s možností sledování vývoje jeho trendu. Právě počet nehod v obchodní letecké dopravě za období jednoho roku je znázorněn v následujícím grafu.



**Obrázek 1. Statistika ročních počtů leteckých nehod s následkem ztráty letadla konstruovaného pro více než 6 pasažérů (vrtulníky, balóny a bojová letadla nejsou zahrnuta). [17]**

Z grafu lze jednoduše vyčíst, že počet nehod s narůstajícím časem převážně klesá (z dlouhodobého hlediska je tento trend ještě zřejmější). Tato statistika svědčí o zvyšující se úrovni aktivní bezpečnosti v tomto oboru. Velký úspěch v předcházení leteckým nehodám ještě lépe dokumentuje vztah počtu leteckých nehod a počtu vzletů letadel znázorněný na následujícím grafu. [17]



**Obrázek 2. Průměrný počet nehod letadel s maximální vzletovou hmotností nad 5700 kg vztážený k milionu vzletů. [43]**

## 5 Pasivní bezpečnost v letecké dopravě

I přes kvalitní zabezpečení aktivní bezpečnosti dochází k leteckým nehodám. Dosáhnutí nulové nehodovosti je prakticky nemožné a tak se s nehodami v letectví budeme setkávat i nadále. Nejnižší nehodovost vykazuje obchodní letecká doprava. Z té jsou také známy nejpřesnější údaje, protokoly vyšetřování a další parametry týkající se bezpečnosti. [17]

Pokles množství leteckých nehod se smrtelnými následky bohužel není provázen adekvátním poklesem počtu úmrtí při těchto událostech. Z tabulky 1. se statistikami zahrnující i vztah mezi těmito nehodami a počtem úmrtí při nich vzniklých naopak vyplývá, že se počet úmrtí při nehodě spíše lehce zvyšuje (nicméně tato statistika vykazuje velké výkyvy dané možností let s nehodami vysokokapacitních letadel a naopak let, při kterých došlo spíše k nehodám menších letadel). Ukázkovým příkladem je také rok 2014, kdy při velmi nízkém počtu nehod komerčních letadel (12 nehod s alespoň jednou obětí) a rekordně nízkém podílu těchto nehod k celkovému počtu letů, došlo ke zvýšení počtu obětí vzhledem k průměru z let 2009 až 2013. Zvýšení počtu obětí by bylo ještě vyšší, pokud by IATA do svých statistik zahrнула i pád (vedoucí k úmrtí všech 298 osob na palubě) letounu Boeing 777 společnosti Malaysia Airlines (let MH17), který byl s největší pravděpodobností nad východní Ukrajinou sestřelen a tak dle IATA nespadá do kategorie leteckých nehod. [17] [20]

Tento trend je způsoben provozováním letadel s vyšší kapacitou než v letech předchozích. Zvyšování kapacity nově zkonstruovaných (Airbus A-380 s kapacitou až přes 850 cestujících), či modernizovaných typů (Boeing 737-200 má maximální kapacitu 136 sedadel, zatímco jeho modernizované verze pojmenované „Next generation“ až 220 sedadel) vede k zapojení vyššího počtu osob do samotných nehod. Vzhledem k postupné modernizaci letadlových parků a také například obchodní strategii jednoho z největších výrobců dopravních letadel firmy Airbus (která vidí budoucnost letecké dopravy v systému Hub and Spoke, přepravy velkého množství pasažérů na palubách velkých dopravních letadel mezi velkými, významnými, frekventovanými, přestupními letišti) bude nárůst možnosti vyšších obsazeností letadel i nadále pokračovat. [6] [8]

**Tabulka 1. Statistiky a charakteristiky leteckých nehod. [45]**

Typ operace	Všechny nehody		Nehody se smrtelnými následky		Počet úmrtí na palubě (počet úmrtí mimo palubu)		Ztráta letadla	
	1959-2013	2004-2013	1959-2013	2004-2013	1959-2013	2004-2013	1959-2013	2004-2013
Osobní	1476	326	489	55	28887 (790)	3783 (123)	698	120
Nákladní	260	70	79	14	273 (342)	48 (15)	175	42
Zkoušky, výcvik a jiné	123	11	44	3	208 (66)	17 (0)	75	7
<b>Celkově</b>	<b>1859</b>	<b>407</b>	<b>612</b>	<b>72</b>	<b>29368 (1198)</b>	<b>3848 (138)</b>	<b>948</b>	<b>169</b>

European Transport Safety Council (ETSC) rozdělil letecké nehody z hlediska možnosti jejich přežití takto:

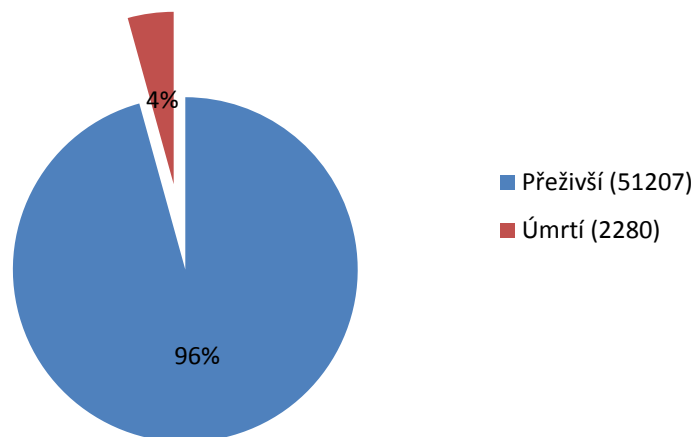
1. Nehody nepřežitelné, kterými se označují ty nehody, které žádný z pasažérů, nebo posádky nepřežil. Například let 9525 společnosti Germanwings, kdy kopilot navedl Airbus A320 do pohoří Francouzských Alp a při nárazu působily na všechny přítomné na palubě síly tak enormní, že smrt nastala u všech okamžitě po nárazu.
2. Nehody přežitelné, těmi jsou naopak nehody, při kterých přežijí všichni na palubě letadla (všichni cestující a zároveň celá posádka). Příkladem je let 843 společnosti TWA, při kterém došlo k nehodě po přerušení vzletu letounu L-1011 TriStar s následným požárem. I přes něj se podařilo všem 292 osobám na palubě včas opustit hořící letadlo a proto nedošlo k žádnému smrtelnému zranění.
3. Nehody technicky přežitelné, jsou nehody, které některý (alespoň jeden) z pasažérů, či posádky přežil. Tou je například let 28M společnosti British Airtours, kdy po přerušeném vzletu a požáru šíficím se letadlem Boeing 737 zemřelo 53 cestujících a 2 členové posádky. Zbylých 82 osob se zachránilo. [23]



ETSC v souvislosti s tímto rozdělením odhadlo, že přibližně 90 procent leteckých nehod, odpovídá nehodám přežitelným, či alespoň technicky přežitelným (90 procent leteckých nehod tak přežije alespoň jedna osoba na palubě). To je v rozporu s všeobecným (několika průzkumy dokázaným) míněním veřejnosti, že leteckou nehodu s velkou pravděpodobností nelze přežít. [23]

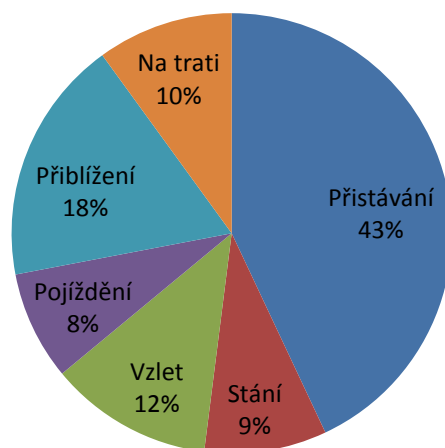
Příkladem schopnosti přežít i ty nejhorší letecké katastrofy je let Pan Am 103. Boeing 747 byl během svého letu, krátce před Vánoci roku 1988, roztržen explozí nad Skotským Lockerbie. Stalo se tak ve výšce 9400 metrů nad hladinou moře. Na palubě bylo v tomto okamžiku 259 osob. Ty byly vystaveny troskám rozpadajícího se letadla, dekompresi tak silné, že mohlo dojít k poškození vnitřních orgánů, dále okolnímu prostředí (nedostatku kyslíku, teplotě dosahující až -50 °C) a po několikaminutovém pádu také nárazu do povrchu země. Při vyšetřování však vyšlo najevo, že srdeční činnost některých z nich pokračovala i po nárazu. Někteří z později přítomných na místě havárie dokonce tvrdí, že některé z obětí vykazovaly známky života i po jejich střetu se zemí. Později, Edinburskou univerzitou, provedená studie poukazuje na pár amerických cestujících, muže okolo 40 let a mladou ženu. Muž podle této studie utrpěl pouze zlomeninu nohy, žena zlomeninu nohy, žeber a menší krvácení do mozku. Anthony Busuttill, profesor forenzní medicíny na Edinburské univerzitě, který stojí za publikováním odborného článku, k jejich šancím na přežití dodal: „Pokud by tito dva lidé byli nalezeni po automobilové nehodě, jejich šance na přežití by nebyly špatné“. [31] [48]

NTSB, americký protějšek ETSC, pak po zmonitorování nehod letadel patřících americkým dopravním v období let 1983 až 2000 obdržel statistiku ještě více vypovídající ve prospěch možnosti přežití. Při 568 nehodách jich totiž pouze 71 (12,5%) vyústilo ve smrt alespoň jedné osoby nalézající se na palubě letadla. Procentuální podíl přeživších a úmrtí je znázorněn v grafu na obrázku číslo 3. Tyto statistiky je však nutno brát s rezervou. Zkoumaným statistickým souborem zde totiž je soubor, vykazující z hlediska bezpečnosti nejlepší výsledky na poli celé letecké dopravy. [46]



**Obrázek 3. Procentuální podíl přeživších a úmrtí při nehodách letadel amerických dopravců v letech 1983 až 2000. [46]**

Nejenom z hlediska celkové bezpečnosti letadel je významný graf na obrázku č. 4. Pro pasivní bezpečnost je rozhodující jakým vnějším vstupům bude vystavena. Zatímco v automobilové dopravě bude vstup před různými nehodami, například rychlost před kolizí, kolísat v rozmezí menším, pro daný příklad v desítkách jednotek (a i zde je velmi nepatrný rozdíl často hranicí mezi přežitím a smrtí), v letectví bude rozdíl markantní, pro zkoumanou rychlost ve stovkách kilometrů za hodinu. Dalšími důležitými vstupy budou: (vertikální i horizontální) poloha letadla nebo množství paliva (s tím je spojena i hmotnost). Všechny zmíněné vstupy v letectví spojuje jejich závislost k jednotlivým fázím letu. Rychlost před nehodou může být nulová (stání), či překračovat hodnoty rychlosti zvuku (na trati). Z hlediska pasivní bezpečnosti je samozřejmě výhodnější nižší rychlost a i z tohoto důvodu je statisticky bezpečnější nehoda při stání než při pohybu na trati (vstup vertikální polohy opět vyznívá jednoznačně ve prospěch stání). Proto ačkoliv je podíl zmíněných nehod na celkovém počtu prakticky identický, poměr nehodovosti se smrtelným zraněním, či úmrtí při nehodách v těchto fázích letu je diametrálně odlišný. Nízký procentuální podíl leteckých nehod, které se odehrály ve fázi letu, kdy se letadlo nacházelo na trati, je výhodným stavem pro pasivní bezpečnost. Vysoký podíl nehod, při kterých se letadlo nacházelo v blízkosti země, či přímo na jejím povrchu a z hlediska pohybového se nacházelo ve stavu klidu, či nižších (což je ovšem relativní vzhledem k například běžným přistávacím rychlostem pohybujících se v rozmezí kolem 260 kilometrů za hodinu) rychlostí, je opět stavem výhodným. [43]



**Obrázek 4. Procentuální rozdělení počtu nehod v jednotlivých fázích letu pro rok 2013. [43]**

Stavem pro pasivní bezpečnost nepříznivým je naopak častá absence detailních mechanismů zranění. Z palubních dat je sice možno sestavit přesný sled událostí, mechaniky letadla a sil působících na jeho konstrukci během nehody, avšak ty jsou nedostačující pro detailní posouzení pasivní bezpečnosti uvnitř trupu. Proto je většina studií tohoto tématu založena na základě zkušeností (například i z jiných druhů dopravy) spíše než na bázi konkrétních dat a výpočtů. [23]

## 5.1 Legislativa

Legislativní činnost je v letectví zvláště komplikovaná a to vzhledem k zapojení vysokého počtu různých stran. Letecká doprava se provozuje nad územím každého ze států, posádka a cestující mohou být jakékoliv národnosti (ve většině případů je složení obsazení letadla mnohonárodnostní, často jsou zahrnuty desítky různých národností), stejně tak jsou letadla montována po výrobě jejich různých dílů a částí v rámci procesu, do kterého jsou zapojeny desítky firem z odlišných částí světa a nakonec například i jeho vlastník (či vlastníci) mohou pocházet z různých států světa. Snahy o sjednocení leteckých zákonů sahají již do období těsně po konci první světové války. Nejdůležitějším bodem tohoto procesu však bylo podepsání Chicagské úmluvy před koncem druhé světové války. Součástí této úmluvy bylo ustanovení vzniku Mezinárodní organizace pro civilní letectví (ICAO). Tato mezivládní organizace přidružená k OSN definuje standardy mezinárodního letectví, které jsou posléze přebírány a implementovány jednotlivými státy. Vzhledem ke stále častějším integracím menších celků (států, firem, výrobců) do celků větších dochází k vytvoření organizací

nových, s pravomocemi právě v rozsahu těchto společenství. Tyto organizace dalším rozšířením, či například zpřesněním definic upravují předpisy, standardy, normy a zákony. [21]

Zkoušení a následná certifikace nových letadel pro obchodní využití probíhala v České republice (a ve většině dalších evropských státech) na základě leteckých předpisů JAR (Joint Aviation Requirements), které vydával mezinárodní letecký úřad JAA (Joint Aviation Authorities, nyní JAAT, česky Sdružené letecké úřady). JAAT drží dohody například se svým americkým protějškem FAA (Federal Aviation Administration), kterými vzájemně uznávají certifikace letadel, či například pilotních průkazů. Evropská unie však v rámci své politiky unifikace roku 2002 založila Evropskou agenturu pro bezpečnost letectví (EASA) s cílem sjednotit požadavky pro oblast civilního letectví v rámci EU. A protože jsou nařízení EU závazné a musí být aplikovány v každém z členských států, kde mají aplikační přednost před národními právními předpisy, stala se EASA hlavní organizací pro legislativu i v oblasti zkoušení a certifikace letadel (a samozřejmě nejenom v té). Letecké předpisy EASA vycházejí z předpisů JAR. [39]

„V souvislosti se vstupem České republiky do EU je v ČR povinné plnění požadavků nařízení EASA týkajících se civilního letectví včetně prováděcích pravidel, která jsou uveřejňována jako jejich přílohy. Tato nařízení se tak stávají součástí právního řádu ČR. Platnost předpisů JAR se vstupem ČR do EU neruší, ale jejich použitelnost se, zejména v přechodových obdobích řídí požadavky souvisejících nařízení EU.“ Takto je definován současný stav v ČR prostřednictvím Úřadu pro civilní letectví. [15]

Pro pasivní bezpečnost nejvíce významné předpisy definují průběh a podmínky zkoušení, které musí jednotlivé části letadel (sedačky, bezpečnostní pásy, a podobně) úspěšně absolvovat pro schválení možností jejich využití v provozu jejich příslušnou certifikací. Těmi jsou pro větší letadla hlavně předpisy JAR s názvem Emergency landing conditions (Nouzové přistávací podmínky), a z nich paragrafy JAR 25.561 General (Obecně) a JAR 25.562 Emergency landing dynamic conditions (Dynamické nouzové přistávací podmínky). V současnosti tyto předpisy pod jiným označením - JAR je nahrazen CS (tedy CS 25.561 a CS 25.562) nalezneme v dokumentu EASA s názvem Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes CS-25. Jejich znění je následující:

CS 25.561 General (Obecně)

- (a) Letadlo, ačkoliv může být poškozeno při nouzových přistávacích podmínkách na souši, nebo na vodní hladině, musí být navrženo tak, jak je předepsáno v tomto paragrafu, aby ochránilo každou osobu na palubě za těchto podmínek.

- (b) Konstrukce musí být navržena tak, aby poskytla každé osobě na palubě rozumnou (reasonable) šanci proti utrpění závažných zranění během méně závažných nehod při přistání když –
1. Je správně použito sedadel, bezpečnostních popruhů a všech dalších poskytnutých bezpečnostních prvků;
  2. Podvozek je zasunut (kde je to možné); a
  3. Osoba na palubě je vystavena následujícím konečným setrvačným silám působícím odděleně v poměru k obklopující konstrukci:
    - i. Směrem nahoru, 3 g
    - ii. Směrem dopředu, 9 g
    - iii. Směrem do stran, 3 g na konstrukci letadla a 4 g na sedadla a jejich připevnění
    - iv. Směrem dolů, 6 g
    - v. Směrem dozadu, 1,5 g
- (c) Pro vybavení, náklad a jakékoliv jiné těžší hmoty v úsecích s pasažéry platí následující:
1. Tyto předměty musí být umístěny tak, že pokud dojde k jejich uvolnění, pravděpodobně nebudou:
    - i. Příčinou přímého zranění osob na palubě;
    - ii. Pronikat palivovými nádržemi, či kabely nebo příčinou požáru, či nebezpečí exploze poškozením přilehlých systémů; nebo
    - iii. Znemožňovat použití nějakého z únikových vybavení pro využití po nouzovém přistání.
  2. Pokud není takové umístění praktické (například motory umístěné v trupu nebo pomocné energetické jednotky), každá taková hmota musí být umírněna pod všechny zátěže, specifikované v sub-paragrafu (b) 3. tohoto paragrafu. Lokální připevnění pro tyto hmoty by mělo být navrženo k odolání 1,33 velikosti specifikovaných zatížení, pokud jsou tyto hmoty předmětem silných poškození, znehodnocení prostřednictvím častých vyjmutí, či přemístění (například prvky rychlé výměny v interiéru).
- (d) Sedadla a hmotné předměty (a jejich podpůrná konstrukce) se nesmí deformovat pod žádnou ze zátěží specifikovanými v sub-paragrafu (b) 3. tohoto paragrafu v jakémkoliv stylu, který by mohl bránit následné rychlé evakuaci osob.

CS 25.562 Emergency landing dynamic conditions (Dynamické nouzové přistávací podmínky)

- (a) Sedadla a zádržný systém v letadlu musí být designován dle předpisů tohoto paragrafu za účelem ochrany každé osoby na palubě během nouzového přistávání a podmínek když:
1. Správné použití sedadel, bezpečnostních pásů a ramenních popruhů je možné vzhledem ke konstrukci a
  2. Osoby na palubě jsou vystaveny zátěžím pramenícím z podmínek předepsaných v tomto paragrafu.
- (b) S výjimkou sedadel leteckého personálu, každý schválený typ sedadla určeného pro obsazení musí úspěšně projít kompletním dynamickým testováním nebo racionální analýzou na základě demonstrace založené na dynamickém testování podobného typu sedadla, ve shodě s každou následující podmínkou nouzového přistávání. Testy musí být provedeny se simulací osoby vážící 77 kg (170 lb antropomorfní, testovací figurína sedící v normální, vzpřímené pozici):
1. Změna vertikální rychlosti mířící směrem dolů ( $\Delta v$ ) je ne méně než 10,7 m/s, (35 ft/s) s podélnou osou letadla mířící dolů pod úhlem 30 stupňů s ohledem na vodorovnou pozici letadla a úroveň křídel. Nejvyšší zpomalení podlahy se musí objevit ne později než 0,08 sekundy po nárazu a musí dosáhnout minimálně 14 g.
  2. Změna horizontální rychlosti ( $\Delta v$ ) je ne méně než 13,4 m/s, (44 ft/s) s horizontální polohou letadla při náklonu 10 stupňů napravo, nebo nalevo podle toho, který z nich nejpravděpodobněji způsobí pohyb ramenního pásu z ramene sedícího. Nejvyšší zpomalení podlahy se musí objevit ne později než 0,09 sekundy po nárazu a musí dosáhnout minimálně 16 g. Kde je použito podlahových kolejí, či podlahových instalací k připojení sedadlových zařízení k testovacímu úchytu, koleje, nebo instalace musí být vychýleny nejméně 10 stupňů vertikálně (ven z rovnoběžky).
- (c) Následující výkonnostní rozsahy nesmí být překročeny během dynamických testů provedenými ve shodě se sub-paragrafem (b) tohoto paragrafu:
1. V případě použití ramenních popruhů, silová zátěž na jednotlivý popruh nesmí překročit 794 kg (1750 lb). Pokud jsou použity dvojité ramenní popruhy, celkové silové zátěže nesmí překročit 907 kg (2000 lb).
  2. Maximální stlačující silová zátěž měřená mezi pánví a bederní páteří testovací figuríny nesmí překročit 680 kg (1500 lb).
  3. Ramenní popruhy (pokud jsou instalovány) musí zůstat sedící osobě během nárazu na ramenu.
  4. Břišní pás musí zůstat sedící osobě během nárazu v oblasti pánve.
  5. Každá sedící osoba musí být chráněna proti vážným zraněním hlavy za podmínek popsanych v sub-paragrafu (b) tohoto paragrafu. Tam, kde může dojít ke kontaktu hlavy se sedadlem, nebo jinou strukturou, ochrana musí být zajištěna tak, že náraz

hlavy nepřesáhne Head Injury Criterion (HIC) o 1000 jednotkách. Výše HIC je definována rovnicí:

$$HIC = \{(t_2 - t_1) \left[ \frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2.5} \}$$

Kde,

$t_1$  je počáteční integrační čas v sekundách,

$t_2$  je konečný integrační čas v sekundách a

$a(t)$  je celkové zrychlení proti časové křivce pro náraz hlavou v jednotkách gravitace (g)

6. Tam, kde by se mohla objevit poranění nohou v důsledku kontaktu se sedadly, nebo jinou strukturou, ochrana musí být zajištěna tak, aby zabránila překročení velikosti 1021 kg (2250 lb) osově stlačujících silových zátěží v každé stehenní kosti.
7. Sedadlo musí zůstat připevněné ve všech bodech upevnění, ačkoliv se struktura mohla ohnout.
8. Sedadla se nesmí ohnout během testů specifikovaných v sub-paragrafech (b) 1. a (b) 2. tohoto paragrafu do takového rozsahu, že by mohly bránit rychlé evakuaci osob na palubě letadla. [13]

Takové jsou předpisy EASA pro velká letadla. EASA dále svými dokumenty specifikuje certifikace pro: hydroplány (CS-22), malé vrtulníky (CS-27), velké vrtulníky (CS-29), či například hluk vznikající provozem (CS-36) a letecké motory (CS-E). [41]

Znění předpisů CS (přesněji JAR) 25.561 a 25.562 prodělalo poslední větší obměnu změnou 13 datovanou 5. říjnem 1989. Jejím nařízením došlo k zvýšení nároků na testování sedadel. Předchozí statické testování silou 9 g, bylo nahrazeno novým, vylepšeným statickým testováním (avšak stejnou silou) a přibylo testování nové, dynamické, silou 16 g. V září roku 2010 vydala EASA dokument, v němž deklaruje, že úroveň ochrany osob na palubě některých velkých letadel není při nouzových přistáních a přežitelných kolizních nehodách optimální. A to právě kvůli tomu, že některá letadla, certifikovaná před zvýšením požadavků, nezvýšila standard svých sedadel na úroveň nových požadavků. FAA již roku 2005 vydala závěrečné pravidlo, kterým požaduje od 27. října 2009 využívání pouze sedadel úspěšně testovaných dle nových požadavků. [47] [26]

## 5.2 Ochrana proti nárazu

Nejvíce úmrtí při leteckých dopravních nehodách je způsobeno nárazem. Síly a momenty při něm působící mohou být tak velké, že prakticky vylučují možnost přežití i při použití nejmodernějších prvků a znalostí pasivní bezpečnosti. Z dříve popsanych statistik však plyne, že šance na přežití alespoň jedné osoby na palubě jsou velké. Častým jevem jsou nehody, při kterých na část pasažérů působí síly neslučitelné se životem, zatímco na jiné působí síly mnohem menší, umožňující přežití havárie. Tento jev je spojen hlavně s mechanikou nárazu (často část letadla, kde vzniknou nejnebezpečnější síly, pohltí většinu deformační energie a tak ve zbylém prostoru vznikají síly méně nebezpečné). [23] [46]

Při kolizi pohybujícího se letadla s jiným objektem dochází k prudkému zpomalení pohybu letadla, kdy objekt absorbuje jeho kinetickou energii. Zatímco letadlo je nárazem výrazně zpomalené, či úplně zastaveno, objekty nacházející se na palubě v prvních okamžicích po nárazu setrvávají, vlivem setrvačných sil, v pohybu a to nezměněnou rychlostí, kterou se současně s letadlem pohybovali před nárazem. Děje se tak až do kontaktu objektu (nejdůležitějším je samozřejmě lidské tělo) s některým z prvků interiéru. Následný náraz lidského těla je doprovázen okamžitou decelerací těla jako celku. Vnitřní orgány nicméně nejdříve pokračují v pohybu až do jejich nárazů (jde o stejný mechanismus jako u systémů letadlo-lidské tělo) do dalších z nich, či případně jiných struktur nalézajících se uvnitř lidského těla. [9]

Jak velkými silami může být působeno na lidské tělo, uvádí příklad z dokumentu *Brace for impact positions* Richarda F. Chandlera. Příklad je velmi zjednodušen (oproti velmi komplikované mechanice skutečných nárazů) o to více je však názornější. Zdůrazněnou skutečností zde je, že přes poměrně malé síly působící při nehodě na letadlo mohou na lidské tělo na palubě působit síly mnohonásobně vyšší. Pro názornost je v úvahu vzat náraz letadla s působící silou pouhých 3 g. Vzdálenost hlavy osoby a předmětu jejího následného nárazu (tedy vzdálenost, kterou hlava urazí od chvíle nárazu letadla do chvíle svého kontaktu s překážkou) je 0,9144 m (3 ft, v dokumentu brána za určující právě angloamerická měrná soustava). Zároveň není přítomný systém, kterým by byla hlava při svém pohybu směrem k překážce zbržděna. Konečná rychlost hlavy těsně před nárazem do prvku interiéru dosáhne velikosti přibližně 7,3152 m/s (24 ft/s). Pokud zároveň budeme předpokládat deformaci velikosti 1,27 cm (0,5 inch), a to ať se bude deformovat část interiéru, či hlava osoby, může být hlava vystavena při svém nárazu silám odpovídajícím průměrně 215 g. Nejvyšší hodnoty však mohou dosáhnout velikosti až 500 g. [19]



Nárazovou rychlost člověka na část interiéru paluby je možno vypočítat z rovnice uvedené níže. Velikost této rychlosti je jedním z hlavních parametrů určujících míru poranění.

$$v_n = v_c - v_v = \sqrt{2 * h * a_v}$$

- $v_n$  je nárazovou rychlostí objektu do části interiéru,
- $v_c$  je rychlost pohybu člověka po nárazu
- $v_v$  je rychlost dopravního prostředku (letadla) po nárazu
- $h$  je vzdálenost objektu (příslušné části lidského těla) a prvku, do něhož narazí
- $a_v$  je zpomalení letadla po nárazu a lze jej vypočítat ze vztahu

$$a_v = \frac{P}{M}$$

- $P$  je deformační síla konstrukce
- $M$  je hmotnost letadla [1]

Z rovnice vyplývá, že zmenšit tuto rychlost můžeme (za objekt považujeme lidské tělo):

1. Zmenšením vzdálenosti ( $h$ ) mezi částí lidského těla a prvku interiéru, do kterého narazí. Toto je hlavní funkcí bezpečnostních pásů a (nově i v letectví používaných) airbagů. Také proto by při doporučené bezpečnostní poloze (brace position) před nárazem měli horní končetiny spočívat na zadní straně sedadla nacházejícího se před osobou, hlava by měla být položena na nich a osoba by se měla předklonit.
2. Zmenšením zpomalení letadla ( $a_v$ ). Toho lze dosáhnout primárně správným rozhodnutím pilota, či například vhodně konstruovanými prvky a objekty v prostorách letiště. [1]

Stejně jako u pasivní bezpečnosti i při ochraně osob před nárazem je zvýšení její úrovně podmíněno spíše výzkumem, zkvalitněním a implementací nových poznatků v rámci všech prvků podílejících se na této interakci, než snahou o maximální zdokonalení pouze jednoho, či implementaci prvku zcela nového.

Ke konci roku 1996 vydal ETSC dokument v němž vyzýval k zaměření se na tři konkrétní body spojené s ochranou proti nárazu. Byly jimi:

1. Zlepšení pevnosti struktury sedadlo-podlaha.
2. Tří bodový bezpečnostní pás.
3. Zlepšení pevnosti nadhlavové skříňky. [23]

I po téměř 20 letech jsou tato témata stále aktuální.

### 5.2.1 Sedadla

Sedadla spolu se zádržnými systémy tvoří při letecké nehodě hlavní rozhraní mezi člověkem a okolím. Hlavním úkolem sedadel je ochránit osoby, v nich nalézající se, před zátěžemi a silami, které by na ně mohli působit.

Legislativní ustanovení pro sedadla, lůžka a bezpečnostní pásy nalezneme v CS 25.785 (s názvem Seats, berths, safety belts and harnesses). Prvním z bodů v tomto paragrafu je nařízení poskytnutí sedadla (nebo lůžka, myšleno neambulantního) každé osobě na palubě, která dosáhla věku minimálně dvou let. Následující sub-paragraf stanovuje, že výše zmíněné a další v okolí osob přítomné prvky, při jejich správném použití zajistí, že osoba nebude vážně zraněna, při působení sil specifikovaných v paragrafech CS 25.561 a CS 25.562. Výjimku tvoří lůžka určená pro transport pacientů, která nemusí splňovat požadavky paragrafu CS 25.562. Dalším, velmi důležitým sub-paragrafem je nařízeno, že každé ze sedadel a lůžek musí být certifikováno. [13]

Větší pozornost je v paragrafu kladena na sedadla posádky. Pilotní sedadla musí být konstruována tak, aby odolala silám a zátěžím definovaným v paragrafu CS 25.395. Přímou v tomto paragrafu (CS 25.785) se pak nachází několik pod-bodů přesněji popisujících požadavky kladené na sedadla pro posádku, nalézající se mimo pilotní kabinu. [13]

Nejdůležitější legislativní změny provedené za posledních několik desetiletí za účelem lepší protekce osob v souvislosti se sedadly se datují lety 1984 a 1988. Roku 1984 bylo nařízeno používání méně hořlavých materiálů užitých v sedadlech. To podle FAA poskytlo dalších 40 až 60 sekund pro úspěšnou evakuaci. Rok 1988 přivedl již výše zmíněné přísnější testování sedadel (více na konci odstavce Legislativa). [16]

Přes letité legislativní úpravy nespočívá nejzásadnější možnost zlepšení bezpečnosti sedadel v jejich dalších vylepšeních (co se sedadel samotných týká). Klíčové je totiž jejich samotné rozmístění a hlavně pozice vzhledem ke směru letu. Toto téma je v současnosti (a bylo tomu tak i v minulosti) nejvíce studovaným a diskutovaným tématem dalších úprav týkajících se sedadel. Mnohými studiemi bylo totiž například prokázáno, že sedadla, v kterých se nachází osoba zády ke směru letu, jsou bezpečnější. Tyto studie ke všemu nebyly založeny pouze na zkoušeních a teoretických výpočtech, nýbrž také na zkušenostech z vojenského, či všeobecného letectví, kde je tato konfigurace poměrně často využívána. [23] [46]

## 5.2.2 Bezpečnostní pásy

V letectví můžeme pozorovat mnoho druhů bezpečnostních pásů. Od jednoduchých dvoubodových po mnohobodové pásy poskytující maximální ochranu. Zatímco u komerčních dopravních letadel je nejčastěji u sedadel posádky instalován vícebodový pás (většinou 4 a více bodový, pilotní sedadla jsou často opatřena 5-ti) a u sedadel pro pasažéry pás pouze břišní, dvoubodový, u ostatních druhů letecké dopravy (všeobecného letectví-general aviation, či vojenského letectví) je rozšířeno (a často legislativně vyžadováno) použití pásů s ramenními popruhy (tedy více jak dvoubodových). [44] [22]

Požadavky na bezpečnostní pásy větších dopravních letadel jsou zakotveny, stejně jako na sedadla, v paragrafu CS 25.785. Jedním z důvodů proč jsou u sedadel pro cestující v těchto letadlech instalovány pouze pásy břišní, je možnost vyhnout se, v rámci legislativy, nutnosti přítomnosti popruhů ramenních. Ve výše zmíněném paragrafu je totiž stanoveno, že každá z osob na palubě musí být ochráněna před poraněním hlavy jednou, či více z následujících podmínek:

1. Ramenním popruhem, který zabrání kontaktu hlavy s nebezpečnými objekty.
2. Eliminací jakéhokoliv nebezpečného (z hlediska kontaktu s hlavou) objektu, nacházejícího se v oblasti možného střetu s hlavou.
3. Opěrkou, která absorbuje energii a přitom bude podporou pro ruce, ramena, hlavu a páteř. [13]

Pro splnění požadavků, kladených paragrafem CS 25.785, tak stačí splnit pouze jednu z těchto podmínek.

Přes mnoho závěrů z různých vyšetřování a výzkumů, doporučujících zaměření pozornosti na možnost častějšího využití ramenních popruhů, jsou pasažéři na palubách větších dopravních letadel k sedadlům připoutáni pouze břišními pásy. Nejčastěji uváděnými argumenty, proč tento stav přetrvává, jsou:

1. Za hlavní cíl bezpečnostních pásů u cestujících v dopravních letadlech je považována schopnost udržet osobu v sedadle, ke kterému je pásem připevněna. Ramenní popruh, při správném použití pásu břišního, tuto schopnost již však vyšší mírou nezlepšuje.
2. Pokusy prokázaly, že pokud cestující zaujme správnou pozici pro náraz (takzvanou brace position), je rozdíl, při použití ramenního popruhu a jeho nevyužití, v poraněních utrpěných následným nárazem malý.
3. Nebezpečí komplikace rychlé evakuace.

4. Problémy spojené s instalací uchycení více bodových pásů.
5. Stížnosti pasažérů (snížením komfortu) a s tím spojená možnost zvýšení nekázně používání bezpečnostních pásů. [23] [46]

I přes tyto argumenty je výhoda přítomnosti ramenních popruhů při nehodě letadel neoddiskutovatelná. Mnohé z argumentů mají také své „trhliny“. Například se nelze spoléhat na správnou pozici (brace position) všech pasažérů při nárazu. Někteří z nich totiž mohou před nárazem spát, nalézat se ve stavu bezvědomí, či tuto pozici jednoduše nestihnou zaujmout.

Znalosti a důležitá fakta můžeme získat z využití ramenních popruhů ve všeobecném letectví. Ve Spojených státech amerických, kde se všeobecné letectví (general aviation) těší nesmírné oblibě, jsou ramenní popruhy vyžadovány u všech menších letadel vyrobených od 12. 12. 1986. V návaznosti bylo vydáno mnoho dokumentů, znázorňujících a popisujících správné používání takových pásů. Výsledkem, dle studií nehod, využívání ramenních popruhů ve spolupráci s břišním pásem je snížení vážných zranění o 88% a smrtelných zranění o 20%. [44]

### **5.2.3 Airbagy**

Velmi dobré zkušenosti s těmito prvky pasivní bezpečnosti v automobilové dopravě brzy přivedly letecké inženýry k myšlence jejich implementace také v letecké dopravě. K prvním použitím airbagů v letectví došlo u vrtulníků vojenského letectva (konkrétně amerického). Roku 2003 došlo k první certifikaci airbagu určeného pro všeobecné letectví. Po úspěchu a velkém rozšíření tohoto prvku i zde, následovaly první instalace také do větších dopravních letadel (setkat se s nimi v současnosti můžeme na palubách dopravců, jakými jsou například Air France, American Airlines, British Airways, Delta Air Lines, či Emirates). [4]

V letectví používané airbagy se od těch automobilových výrazně odlišují místem, v němž jsou instalovány. Vzhledem k nemožnosti jejich instalace do prvků řízení (či jinam) u sedadel pilotních jsou již od prvního vývoje umisťovány dovnitř bezpečnostních pásů (viz obrázek číslo 5). Zatímco je tedy airbag instalovaný v autě vystřelen směrem proti osobě, v letectví je vystřelen od osoby (ze zapnutých pásů), proti interiéru kabiny. [5]



**Obrázek 5. Příklad umístění airbagů uvnitř vnějších ramenních popruhů u letadla Cirrus. [5]**

Letecké airbagy poskytují osobám zvýšení jejich bezpečnosti při nárazu z těchto důvodů:

1. Snižují vzdálenost, kterou lidské tělo urazí po nárazu konstrukce letadla (viz rovnice v odstavci Ochrana proti nárazu a hodnota  $h$ ). Tím dochází ke snížení rychlosti těla (a nižším hodnotám decelerace). Příklady ovlivnění této rychlosti vychází opět z výše uvedené rovnice, v automobilovém průmyslu je za hodnotu  $h$  dosazováno: 1) 0,3-0,5 pro náraz bez použití bezpečnostních pásů a airbagu, 2) 0,05-0,2 při použití bezpečnostních pásů a za 3) je  $h$  hodnoceno jako limitně se blížící 0 za současného použití bezpečnostních pásů a airbagu.
  2. Při nárazu dochází ke kontaktu lidské tělo-airbag. Výhodou je lepší absorpce energie lidského těla airbagem než pevnějšími a k tomu různě tvarovanými prvky interiéru a také omezení rozsahu počtu prvků, s nimiž může dojít během nárazu k interakci (viz obrázek 6).
  3. Dochází k lepšímu (na větší plochu) rozložení sil a zátěží působících na lidské tělo.
- [5]

Vzhledem k tomu, že ve větší míře jsou airbagy na poli letecké dopravy prvky novými, v blízké minulosti instalovanými, zatím neexistuje mnoho studií a výzkumů, které by přesněji (číselně) vyjadřovaly jejich účinnost. Pro alespoň přibližnou představu však může posloužit například závěr z vyšetřování leteckých nehod vedoucích ke smrtelným, či závažným zraněním, které se odehrály v letech 2005 až 2010 v americkém státě Aljaška. FAA v něm tvrdí, že ze 113 zmařených životů, jich více jak 50 mohlo být zachráněno použitím airbagů.

Airbagy v letectví bezpečnosti čeká větší rozšíření doprovázené mnoha studiemi, výzkumy a jejich vylepšeními, vzhledem k jejich v budoucnosti stále rychleji rostoucím významem pro pasivní bezpečnost v tomto odvětví. [18]



**Obrázek 6. Aktivovaný airbag, během zkoušení za pomoci zkušebního vozíku. [5]**

### **5.3 Biomechanika poranění**

„Biomechanika je mezioborová vědní disciplína spojující studium mechanických zákonitostí a vlastností biologických materiálů a systémů. Biomechanika poranění je jejím podoborem sledujícím reakce živého organismu způsobené vnějšími silami a jejich vliv na rozvoj úrazového děje.“ Významnost tohoto podoboru dokumentuje fakt, že byl vůbec tím prvním zkoumaným v rámci celé biomechaniky. Hlavní motivací k dalším studiím biomechaniky poranění je však jednoznačně další snížení počtu obětí různých zranění a s tím spojená snaha o zmírnění závažnosti utrpěných zranění. Výzkum tohoto typu biomechaniky je v současnosti často zadáván, organizován a investován státy, či velkými (často mezinárodními) firmami. Hlavními cíli těchto výzkumů jsou:

1. Identifikace a vysvětlení mechanismů poranění

2. Kvantifikace traumatologických odezev částí lidského těla na náraz
3. Rozhodnutí o limitech pro poranění
4. Hodnocení bezpečnostních prvků a technik [1] [2]

Lékařský obor neodmyslitelně patřící k biomechanice poranění se nazývá traumatologie. Ta se zabývá poraněními způsobenými vnějšími událostmi vedoucími k porušení celistvosti orgánů, kostí a dalších částí lidského těla (traumaty). [2]

### 5.3.1 Hodnocení AIS

Jednou z nejpoužívanějších stupnic hodnocení traumatických zranění je Abbreviated Injury Scale (AIS). Tato stupnice určuje závažnost poranění na základě anatomicko-klinického posouzení. Od svého prvního publikování roku 1969 doznala značných změn a vylepšení. Nejnovější verze má pro hodnocení zranění 7 čísel, která jsou rozdělena do dvou skupin. První skupina čísel (prvních 6 z nich) popisuje místo, typ struktury (zda je poraněn orgán, kost, atd.), typ poranění (amputace, popálenina, protržení,...) a úroveň poranění. Druhou částí je poslední číslo, oddělené tečkou, udávající bodové hodnocení celkové závažnosti poranění. Nejdůležitějším z čísel je právě číslo hodnotící celkovou závažnost zranění, jelikož je často používáno osamostatně, či pro jiné stupnice (ISS). V tabulce 2. jsou pro představu uvedena zranění odpovídající různým bodovým hodnocením celkové závažnosti poranění AIS. [1] [2] [3]

Bodové hodnocení celkové závažnosti poranění AIS

- 0 – bez zranění
- 1 – malé zranění
- 2 – střední zranění
- 3 – závažné zranění
- 4 – velmi vážné zranění
- 5 – kritické zranění
- 6 – maximální (v době nehody neléčitelné) zranění
- 9 – neznámé zranění [1] [2]

**Tabulka 2. Příklady zranění odpovídajících různým bodovým hodnocením AIS. [1]**

AIS	Hlava	Hrudník	Břicho	Páteř	Končetiny
1	Bolest, malátnost	Zlomenina jednoho žebra	Povrchové poranění	Natažení	Zlomenina prstu
2	Bezvědomí 1 h, lin. zlomenina	2-3 žebra zlom. sternum	Poranění kontuze, jater, ledvin	Malá zlomenina bez vlivu na kanál	Jednotlivá zlomenina tibie, pánve
3	Bezvědomí 1-6 h, vpáčená zlomenina	≥ 4 žebra, 2-3 žebra + pneumo nebo hemothorax	Slezina, ledviny – velké poranění	Prasklý disk s poškozením nervu	Vykloubení kolena, zlomenina stehenní kosti
4	Bezvědomí 6-24 h, otevřená zlomenina	≥ 4 žebra s hemoth. nebo pneumothorax – kolaps hrudníku	Játra velké zranění, roztržení	Částečné poškození míchy	Amputace nad kolenem, rozdrcená pánev
5	Bezvědomí > 24 h, velký hematom (100 cm <sup>3</sup> )	Roztržení aorty	Roztržení ledvin, jater	Quadruplegie	Otevřené rozdrcení pánve

### 5.3.2 Hodnocení ISS

Protože hodnocení AIS nebere v potaz účinky způsobené vícenásobnými zraněními osob, bylo roku 1974 ustanoveno hodnocení Injury Severity Score (ISS). To vychází z AIS a také z rozdělení těla člověka na 6 různých částí (1 – hlava nebo krk, 2 – obličej, 3 – hrudník, 4 – břicho nebo pánevní obsah, 5 – končetiny nebo pánevní pás, 6 – vnější). Vzorec pro výpočet ISS je následující:  $ISS = A^2 + B^2 + C^2$ , kde  $A$ ,  $B$ ,  $C$  jsou bodová hodnocení celkové závažnosti poranění AIS tří, nejvíce poškozených částí těla (podle rozdělení ISS). Celkové nejvyšší možné ohodnocení je číslem 75. Toho je dosaženo při zranění pátého stupně AIS



na třech místech lidského těla ( $25 + 25 + 25 = 75$ ), nebo pokud alespoň na jednom z míst bylo dosaženo poranění šestého stupně (pak je hodnoceno automaticky ISS = 75). Významným číslem je ISS = 15, pokud totiž dojde k překročení této hodnoty, je poranění osoby kvalifikováno jako větší trauma (polytrauma), nebo vážné zranění. [2] [25]

### 5.3.3 Poranění hlavy

Hlava je anatomicky rozdělena na dvě části. Část obličejovou a část mozkovou. První rozdělení poranění hlavy tak přímo vychází z toho členění (sledujeme tak poranění obličejové části a poranění mozkové, jinými slovy lební, části). Ve většině případů je nebezpečnější zranění lební části. Poranění této části (takzvaná kraniocerebrální poranění) můžeme dále rozdělit na:

1. Povrchová poranění (měkkých částí hlavy).
2. Zlomeniny lebky (dále dělíme: lineární zlomeniny a zlomeniny impresivní (vpáčené) a kominutivní (tříštivé)).
3. Poranění mozku (dělíme: otřes mozku, pohmoždění mozku a stlačení mozku). [2] [24]

Dalším důležitým dělením poranění hlavy je:

1. Primární poranění, které vzniká v důsledku přenosu sil na hlavu například právě při nárazu. Vzniku těchto zranění se i v letectví předchází nošením přileb (to však spíše u vojenského letectví), či lépe deformovatelnými materiály a prvky v místech pravděpodobného nárazu hlavy.
2. Sekundární poranění, jež často vzniká v souvislosti s primárním zraněním. Jeho vlivem totiž může nastat poškození, které má za následek nedostatečné prokrvování, či prokysličování mozku. Takové poranění je velmi nebezpečné a v závislosti na rychlosti obnovení těchto funkcí může vést k trvalým následkům, či smrti pacienta. [2]

V souvislosti s dopravou je nejčastěji používaným kritériem zranění hlavy Head Injury Criterion (HIC). Jak je uvedeno výše (viz odstavec Legislativa, kde je také uveden vzorec výpočtu) využívá se tohoto kritéria i při testování způsobilosti interiéru kabiny letadel. Hodnota HIC 1000 je při testování používána jako limitní a nemělo by dojít k jejímu překročení. [2]

Poranění hlavy jsou pro letecké nehody (a obecně pro obor traumatologie) klíčovým biomechanickým faktorem. Pro včasnou evakuaci letadla je důležité udržet osoby na palubě při vědomí, jinak hrozí jejich zanechání na palubě a s tím spojené nebezpečí sekundárních

poranění (nejčastěji vlivem jedovatých zplodin vzniklých při požáru, či přímo samotným požárem).

#### 5.3.4 Poranění hrudníku

V hrudní dutině člověka jsou umístěny orgány, jejichž selháním může nastat téměř okamžitá smrt. Srdce, plíce a další, v hrudním koši uložené, orgány jsou chráněny soustavou kostí-žeber. Ty zajišťují jejich protekci před zraněními, avšak při větších silách působících při nehodách mohou být poškozeny a naopak orgány ohrožovat svými ostrými hranami lomů. Poranění hrudníku můžeme rozdělit na:

1. Penetrující (otevřená)
2. Nepenetrující (uzavřená) [35]

Zranění hrudníku jsou s ohledem na ohrožení života děleny na:

1. Život bezprostředně ohrožující
  - a. Blokace dýchacích cest
  - b. Tenzní pneumothorax
  - c. Otevřený pneumothorax
  - d. Masivní hemothorax
  - e. Vlající (nestabilní) hrudník – flail chest
  - f. Srdeční tamponáda
2. Život potencionálně ohrožující
  - a. Kontuze srdce, plic
  - b. Ruptura bránice
  - c. Tracheo-bronchiální poranění (poranění velkých dýchacích cest)
  - d. Poranění jícnu
  - e. Poranění plic výbuchem (blast mechanismem)
  - f. Nekomplikovaný pneumothorax
  - g. Hemothorax [35]

Toto rozdělení je však do jisté míry subjektivní a tak se můžeme setkat s rozděleními, kde se mohou hraniční zranění nalézat ve druhé skupině. Někdy je také přidána třetí skupina, označená jako ostatní poranění hrudníku (zde se pak často nalézají nekomplikovaný pneumothorax, či hemothorax). [35]

Zatímco v automobilovém průmyslu jsou pro limity poranění hrudníku legislativně využívána mnohá kritéria (Thoracic Trauma Index – TTI, Viscous Criterion – V\*C, apod.) v letectví tomu tak legislativně není. [22]

### **5.3.5 Poranění břicha**

Na rozdíl od hrudníku nejsou orgány uložené v břišní dutině chráněny žádnou soustavou kostí, či jinými uskupeními. Játra, ledviny a slezina, které patří mezi tyto orgány, jsou navíc křehké orgány. Velké cévy přítomné v této oblasti tvoří další z nebezpečí při jejich poranění. Častým zraněním v této části lidského těla je ruptura některého z orgánů (jater, sleziny) s následkem krvácení do břišní dutiny. [34]

Pro legislativní testování v letecké dopravě opět nejsou určena žádná specifická kritéria. Vzhledem k vybavení prakticky všech sedadel v letadlech břišními pásy, je tato část těla chráněna (pravděpodobně nejlépe ze všech částí lidského těla) proti nárazům. Samozřejmě i přesto dochází k poraněním břicha a proto je důležité sledovat biomechaniku těchto poranění a případné poznatky implementovat do praxe a leteckého provozu. [34] [22]

### **5.3.6 Poranění pánve**

Pánev je tvořena uzavřeným systémem kostí. Dvě pánevní kosti jsou pevně spojeny ve stydké sponě, zatímco kost křížová je k pánevním kostem připevněna kloubně. Systém pánve tvoří chráněný prostor, ve kterém jsou umístěny orgány různých soustav, ale také například velké cévy. Mezi nejnebezpečnější poranění patří zlomeniny pánve. Ty kromě toho, že mohou vést k masivnímu krvácení, způsobují ztrátu stability celého těla. Osoba neschopná pohybu je výrazně ohrožena sekundárními poraněními v důsledku její neschopnosti rychlé evakuace. [28] [32] [37]

V CS 25.562 je ustanovena maximální povolená stlačující silová zátěž, měřená mezi pánví a bederní páteří, která pro zdárné složení zkoušky může nastat. Její hodnota je 6,67 kN (680 kg, 1500 lb). V tomto paragrafu je oblast pánve zmíněna ještě v souvislosti s další zkušební podmínkou. Ta stanovuje, že břišní pás musí zůstat po zkušebním nárazu právě v této (pánevní) oblasti. [13]

### 5.3.7 Poranění končetin

Končetiny dělíme na horní a dolní. Jsou tvořeny dlouhými kostmi (vůbec nejdelší z kostí je kost stehenní), klouby a také velkým množstvím kostí menších. Ač se (hlavně za ztížených podmínek, které mohou nastat právě i po letecké nehodě) mohou podílet na pohybu člověka obě z nich, daleko častěji dochází k zapojení pouze končetin dolních. Ty jsou naprosto klíčové pro mobilitu osoby.

Právě snaha o zachování mobility osob na palubě letadla vedla k definování hodnot, které nesmí být při zkoušení překročeny, pokud má dojít k úspěšnému absolvování takových zkoušek. Kritérium zahrnuté v CS 25.562 nařizuje, že v místech, kde by se mohli objevit poranění nohou v důsledku kontaktu se sedadly, nebo jinou strukturou, ochrana musí být zajištěna tak, aby zabránila překročení velikosti 10 kN (1021 kg, 2250 lb) osově stlačujících silových zátěží v každé stehenní kosti. [13]

## 6 Významné nehody

Dvěma fázemi letu, při kterých se nejčastěji vyskytují letecké nehody, jsou přistávání a přiblížení na přistání. Varšavská nehoda je tak příkladem nehody při přistávání, zatímco nehoda u Kegworthu té při přiblížení. [43]

Neplánované opuštění runwaye je pravděpodobně nejčastější havárií letadel a tak si jistě zaslouží pozornost. Nehoda na letišti hlavního města Polska je také důležitá pro demonstraci toho, jak důležité je při letecké nehodě osoby na palubě ochránit nejen před nárazem, ale také je udržet při vědomí a pohyblivé. Oproti nehodám automobilovým zde totiž existuje vysoké riziko vzniku požáru, který posléze ohrožuje přeživší. [22]

Pravděpodobně žádná (novodobější) letecká nehoda neovlivnila pasivní bezpečnost paluby letadla tak významně, jako nehoda nedaleko Kegworthu. Důkladným vyšetřováním byla sesbírána, určena a následně vyhodnocena data, jež i nyní poskytují cenné informace, potřebné k pochopení komplexního problému pasivní bezpečnosti. [22]

### 6.1 Varšavská nehoda

#### 6.1.1 Popis nehody

Dne 14. září 1993 došlo k nehodě Airbusu A320-200 společnosti Lufthansa při jeho přistávání na Varšavském letišti. Let 2904 nezvládl přistávací manévr a následkem toho přešel runway. Přibližně 85 metrů za runwayí narazil do šesti metrového náspu. Nehoda měla za následek dvě úmrtí (jeden cestující a kapitán). Z 64 pasažérů jich 33 zůstalo nezraněno. [22]

#### 6.1.2 Důležité aspekty nehody

Krátce před nárazem do náspu, pilot stočil letadlo napravo. K nárazu došlo při přibližně 107 km/h (58 kts) a letadlo při něm bylo stočeno přibližně 30 stupňů vpravo. Násep byl přibližně 6 metrů vysoký, 4 metry široký na svém vrcholu, se sklonem stěn v rozmezí 35 až 40 stupňů a strana směrem k runwayi (prvního nárazu) byla pokryta betonovými kostkami. Airbus překonal násep a zastavil se těsně za ním s pravým křídlem a zádí spočívající stále na náspu. V konečné fázi nehody před letadla dopadla z výšky šesti metrů, téměř již kolmým pohybem na zem. Dle svědectví cestujících nedošlo k otevření nadhlavových skříněk a

následnému pohybu hmotných předmětů. 26 řad sedadel tvořila trojná sedadla (v každé z řad dvě) série 9101 firmy SICMA AERO SEAT INC. Ta byla certifikována po statickém testování silou 9 g, uspěla by ovšem i u následného přísnějšího testování (upraveném statickém silou 9 g a dynamickém silou 16 g). Sedadla nebyla nárazy odtržena od podlahy a jejich poškození byla pouze menších rázů. Letadlo zachvátil po nehodě požár, šířící se z prostoru levého motoru. Fotografie z místa nehody je na obrázku číslo 7. [22]

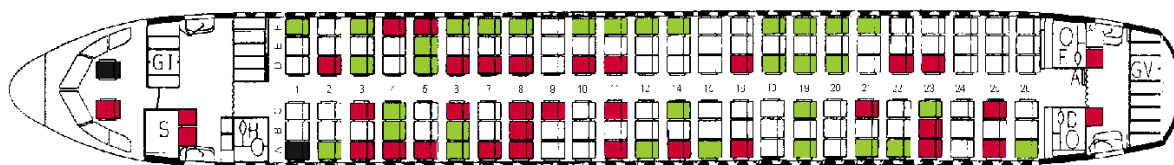





**Obrázek 7. Nárazem a následným ohněm poničený Airbus A320-200 a násep (vpravo), který před svým zastavením překonal. [22]**

### 6.1.3 Utrpěná zranění

Ze 70 osob nalézajících se na palubě v době nehody, 2 zemřely, 35 jich utrpělo poranění a zbylých 33 vyvázlo bez zranění. Smrt nastala u jednoho z pasažérů, kdy byla příčinou otrava oxidem uhelnatým a u kapitána, který podlehl zraněním v oblasti hrudníku. Zbylá utrpená poranění byla hodnocena podle stupnice AIS v rozmezí 1 až 3. Vzhledem k pádu přídě z výšky 6 metrů došlo v tomto místě k působení vertikálních sil dosahujících až 25 g. Toto se projevilo v utrpených zraněních (například zlomeniny kostrče) v této části letadla. Devět osob bylo zraněno (nejčastěji výron kotníku, zlomeniny horních končetin) při následné evakuaci Airbusu. Zdravotní stav jednotlivých osob po nehodě je znázorněn na obrázku číslo 7,






zatímco míry poranění vztahované také k jednotlivým sedadlům a příčině jejich vzniku jsou na obrázku číslo 8. [22]



-  Smrt
-  Poranění
-  Bez poranění

Obrázek 8. Zdravotní následky nehody pro jednotlivé osoby na palubě. [22]



-  Smrt zapříčiněná nárazem
-  Vážná poranění způsobená nárazem
-  Méně vážná poranění způsobená nárazem
-  Vážná poranění způsobená během evakuace
-  Bez zranění

Obrázek 9. Závažnost a příčina vzniku poranění způsobených osobám přítomným na palubě letadla. [22]

## 6.2 Kegworthská nehoda

### 6.2.1 Popis nehody

K nehodě Boeingu 737-400, registrovaného pod označením G-OBME, společnosti British Midland, došlo v bezprostřední blízkosti dálnice M1, nedaleko města Kegworth, hrabství

Leicestershire Britského království. Stalo se tak 8. ledna roku 1989 při pokusu o nouzové přistání na letišti East Midlands. Tomu předcházelo poškození levého motoru, avšak špatným vyhodnocením zapříčiněnému vypnutím motoru pravého (nepoškozeného). Při přiblížení došlo zvýšením tahu poškozeného motoru k jeho další destrukci s následnou ztrátou tahu. Přes pokus obnovit tah zapnutím pravého funkčního motoru (bohužel k tomuto úkonu v této fázi již letadlo nemělo potřebnou dopřednou rychlost) došlo těsně před letištěm (0,5 nm) k dvojitému nárazu do země. Pro 47 osob z celkového počtu 126 na palubě měla nehoda smrtelné následky. Fotografie z místa nehody je na obrázku číslo 9. [22] [42]



**Obrázek 10. Pozice a poškození Boeingu 737-400 po nehodě nedaleko runway (přibližně 630 m od prahu dráhy) u města Kegworthu. [22]**

### **6.2.2 Důležité aspekty nehody**

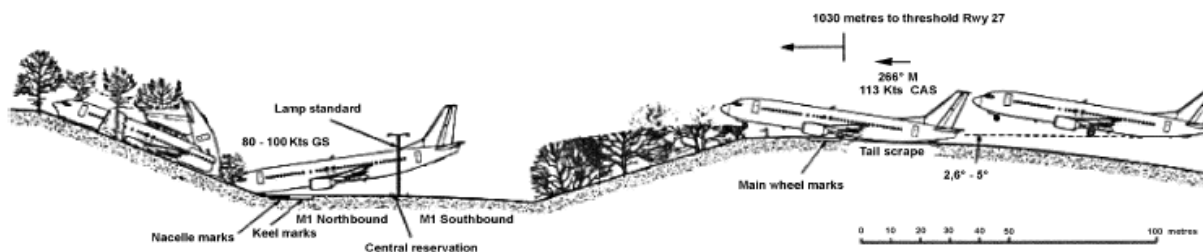
Při nehodě došlo ke dvěma kolizím se zemí. K první došlo přibližně 100 metrů východně od dálnice M1. Na základě stop, které po sobě Boeing zanechal, a zároveň z jeho FDR byly určeny parametry prvního z nárazů:

- Podélný sklon letadla:  $13^\circ (\pm 1^\circ)$  přídí vzhůru
- Příčný sklon letadla:  $4^\circ (\pm 1^\circ)$  pravé křídlo níže
- Úhel vybočení:  $4,5^\circ (\pm 1^\circ)$  přídí vlevo



- Směr: 266° M
- Vzdušná rychlost: 113 kts (přibližně 210 km/h) CAS (calibrated airspeed)
- Traťová rychlost: mezi 104 kts (192,6 km/h, CAS opravená vzhledem k větru) a 111 kts (205,6 km/h)
- Rychlost klesání: mezi 8,5 ft/s (2,59 m/s, rychlosti klesání změřená barometricky) a 16 ft/s (4,88 m/s, radarově změřená rychlost klesání upravená vzhledem k terénu) [22] [42]

Po prvním z nárazů došlo pouze k menším poškozením (poškození hlavního přistávacího podvozku, odtržení dveří APU) letadla, které dále pokračovalo ve svém pohybu. Při něm se dostalo přes jízdní pruhy směřující na jih, svodidla oddělující protisměrné jízdní pruhy (zde došlo ke kontaktu levého křídla s jednou z lamp osvětlení a již odtrženého podvozku se svodidly) a předí narazilo do základny východního náspu dálnice (prvním dotykem při druhém nárazu však byl kontakt předního podvozku se samotnou silnicí). Po nárazu došlo k roztržení letadla. Přední a zadní část se odtrhly od střední. Zatímco přední část dosáhla nulové rychlosti 27 metrů od místa svého nárazu, střední již po 21 metrech a vedle ní i zadní část, která se překlopila vpravo, na pravé křídlo. Velmi důležitým (z pohledu přežití osob i následného vyšetřování) bodem bylo, že nedošlo k následnému požáru trosk letadla. Pohyb letadla při nehodě je znázorněn na obrázku číslo 10. [22] [42]



**Obrázek 11. Sekvence pohybu letadla, složená ze dvou samostatných nárazů, při jeho nehodě. [22]**

Pro druhý z nárazů již nebylo možné určit jeho parametry z FDR a dalších přístrojů z letadla a tak došlo k určení na základě výpočtů a zanechaných stop. Bylo provedeno několik různých výpočtů (na základě balistické trajektorie, či výrobcem letadla firmou Boeing), avšak nejpřesnějšími byly určeny parametry po zvážení nejen balistické trajektorie, ale také vztlaku a dalších aerodynamických veličin působících na letadlo při jeho předcházejícím pohybu. Tyto parametry, použité také při počítačových simulacích (Run 2, Run 3 a KRASH), jsou:

- Podélný sklon letadla: mezi 9° a 14° předí dolů

- Příčný sklon letadla:  $2,5^\circ (\pm 1^\circ)$  pravé křídlo níže
- Úhel vybočení:  $0^\circ (\pm 2^\circ)$
- Směr:  $266^\circ$  M
- Výslednice rychlosti: 39,4 m/s (76,6 kts)
- Horizontální rychlost: 37,9 m/s (73,7 kts)
- Vertikální rychlost: 11,1 m/s (21,6 kts) [22] [42]

KRASH, počítačová simulace, vyvinutá pro tuto nehodu, dokázala vypočítat například teoretické hodnoty sil působících ve střední sekci trupu letadla, které jsou znázorněny v tabulce 3. Zatímco RUN 2 tyto hodnoty vypočítával na základě balistické trajektorie, RUN 3 je vyhodnocoval na základě aerodynamických výpočtů. Šetřením bylo zjištěno, že údaje vypočtené na základě aerodynamických výpočtů odpovídají lépe. [22] [42]

**Tabulka 3. Teoretické hodnoty nejvyšších zpomalení působících ve střední části trupu letadla vypočítané počítačovou simulací KRASH. [22]**

	Nejvyšší hodnoty zpomalení	
	Podélně	Vertikálně
RUN 2	26,1 g (t=60 ms)	23 g (t=161 ms)
RUN 3	19,5 g (t=75 ms)	12,6 g (t=381 ms)

## 6.2.3 Sedadla

### 6.2.3.1 Sedadla pilotů

Při nehodě zůstala tato sedadla na místech svého upevnění v pilotní kabině. Pro účely dalšího zkoumání byla po nehodě převezena společně s dalšími troskami do Farnborough. Zde došlo k detailnímu ohledání, při němž bylo zjištěno následující. Sedadla pilotů byla vystavena vůbec nejvyšší deceleraci. Piloti přesto neutrpěli zranění, která by výší bodování přesáhla zranění cestujících v řadách 1 až 5 (viz tabulka zranění AIS). Přes velikost sil působících při nárazu na pilotní kabinu (hlavně vertikálních v důsledku tlaku předního přistávacího podvozku zespod na podlahu kabiny) zůstala sedadla upevněna ve všech čtyřech bodech ke kolejnicím a ty zároveň k podlaze kabiny. K odtržení opěrek rukou došlo u obou sedadel selháním jejich mechanismu výškového nastavení. Zadržný systém

bezpečnostních pásů byl nalezen prakticky nepoškozen, až na jeden z pásů (vedoucí zespod mezi nohy) kopilota, u kterého došlo k odtržení jeho připevnění k sedadlu. [22] [42]

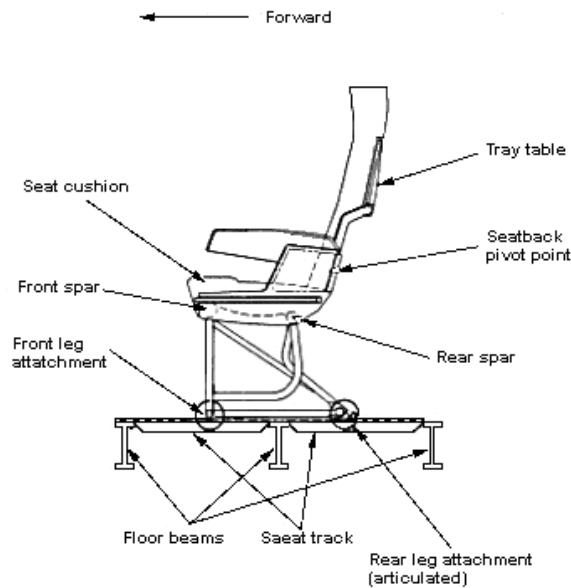
### **6.2.3.2 Sedadla posádky**

Všech pět míst pro palubní personál bylo v okamžiku nárazu obsazených. Jedno dvojité sedadlo pro personál se v Boeingu 737-400 nachází v přední části trupu, zatímco druhé společně se sedadlem samostatným v zadní. Sedadla v zadní části trupu byla prakticky nepoškozena, až na lehký pohyb dvojitého sedadla, způsobený vlivem částečného odtržení a následného pohybu modulu toalety, ke které je toto sedadlo připevněno. Dvojité sedadlo v přední části doznalo poškození závažnějších. Ačkoliv sedací části zůstaly připevněny ke konstrukci sedadla, došlo k jejich propadu směrem dolů. Sedadlo bylo poškozeno i na dalších místech své konstrukce. I přes svá poškození toto sedadlo dokázalo ochránit posádku do té míry, že jejich zranění byla méně vážná, než zranění pasažérů v prvních řadách (jejich nejbližším místě, s podobnými působícími silami). Důvody celkové lepší ochrany posádky byly:

- Sedadla zůstala upevněná k přiléhajícím konstrukcím (i přes strukturální poškození sedadel).
- Všechna sedadla pro posádku byla opatřena více bodovými (oproti pouze dvou bodovým, břišním pásům pro cestující) bezpečnostními pásy.
- S výjimkou sedadel pro piloty byla sedadla pro posádku orientována proti směru pohybu letadla. Mimo pilotů se tak posádka v době nárazu nacházela v pozici zády proti působícím deceleračním silám. [42]

### **6.2.3.3 Sedadla cestujících**

Letadlo bylo vybaveno sedadly modelu 4001 výrobce Weber Aircraft (na obrázku číslo 11). Tato sedadla, ač certifikována na přelomu let 1985 a 1986, již splňovala požadavky definované změnou 13 v JAR 25.562. Trojná sedadla byla uspořádána do 26 řad (v každé řadě dvě, tedy na každé straně uličky v řadě jedno trojné sedadlo) s číslováním od 1 do 27 (řada číslo 13 bývá v letadlech vynechána). [22]



**Obrázek 12. Popis modelu 4001 sedadel společnosti Weber Aircraft (nyní Zodiac Seats U.S.). [22]**

Při nehodě a následné záchranné operaci došlo k oddělení většiny ze sedadel od konstrukce letadla. Pro detailní rekonstrukci byla ve Farnborough sedadla rozmístěna tak, aby co nejpřesněji odpovídala původní konfiguraci. Z hlediska podobných parametrů, například míry poškození, vztahu ke konstrukci letadla, byla následně rozdělena do čtyř sekcí, v rámci kterých byla dále studována. [22] [42]

Sekce 1 - řady 1L/R až 9L/R (kde, L - left indikuje levou stranu branou ve směru letu a R - right stranu pravou)

V této sekci došlo k totální separaci všech přítomných sedadel od struktury podlahy. Členové záchranných složek a další, na záchranné operaci se podílející osoby vypověděli, že sedadla zůstala ve vzpřímených polohách, zmáčknutá k sobě v přední části sekce a úroveň hlav osob v nich sedících odpovídala zhruba úrovni, v které se před jejím kolapsem nalézala podlaha kabiny. Při bližším prozkoumání sedadel bylo zjištěno, že k separacím nedošlo v rámci upevnění sedadla, nýbrž kolapsem struktury podlahy. Závěry dokazující toto tvrzení byly následující. Z 33 (z původního celkového počtu 36) upevnění v zadní části kolejnic jich 27 (82%) bylo stále připevněno ke kolejnicím a z 35 (opět z 36 celkových) předních nohou sedadel jich 17 (49%) zůstalo plně připevněných ke konstrukci sedací části, 12 (34%) bylo částečně oddělených a zbylých 6 (17%) se oddělilo kompletně. [22] [42]

Sekce 2 - řady 10L/R až 17L/R

Sedadla (s výjimkou sedadel 11F a 12F) v této sekci zůstala připevněna ke konstrukci podlahy. Všechna upevnění v zadní části kolejnic zůstala plně připevněna. Oproti sekci 1 zde byly kolejnice přimontovány k žebřům, které byly připojeny přímo k vrchní části konstrukce křídel. Menší poškození také utrpěli přední nohy sedadel, kdy z celkového počtu 28 jich 23 (82%) zůstalo připevněno ke konstrukci sedací části a zbylých 5 (18%) bylo pouze částečně odděleno od této konstrukce. [22] [42]

Sekce 3 - řady 18L až 23L a 18R až 24R

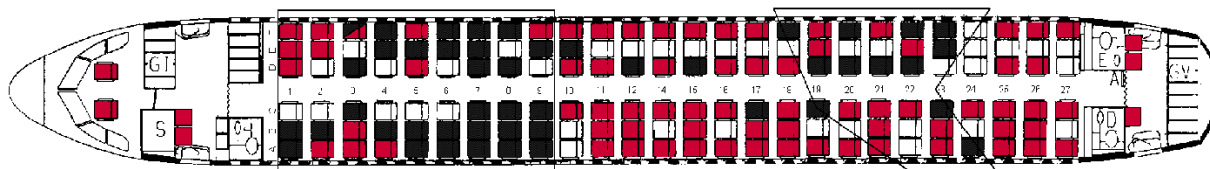
Stejně jako sekce 1 i tato se nachází v místě strukturálního poškození trupu. Sedadla se zde však na rozdíl od první sekce, kde došlo k velmi podobným poškozením všech sedadel, liší v míře utrpěných poškození. A tak například sedadlo 18L nebylo téměř poškozeno, zatímco řady 19R až 24R a řada 23L byly nárazem silně poničeny. Některá z poškození byla zřejmě zapříčiněna pohybem ocasní části, která se při nárazu za rotačního pohybu posunula dopředu a překlopila vpravo od trupu letadla (viz obrázek 9.). Narušení integrity sedadel a jejich upevnění ke kolejnicím odpovídá trendu stanovenému sekcí 1. [22] [42]





Sekce 4 - řady 24L až 27L a 25R až 27R

Tato sekce utrpěla ze všech předchozích nejmenší poškození sedadel a integrity k jejich upevňovacím kolejnicím. Všechna 14 upevnění v zadní části kolejnic zůstalo přichyceno. Také všech 14 předních nohou sedadel zůstalo plně připevněno ke konstrukci sedací části. [22] [42]

#### **6.2.4 Utrpěná zranění**

Statistika nehody v Kegworthu je: 39 mrtvých na místě nehody, 8 dalších osob zemřelo na následky zranění v rozmezí do 22 dnů ode dne tragédie a 79 přeživších osob. Stav jednotlivých osob po nárazu je popsán obrázkem 12. zatímco podrobný popis zranění je v tabulce, umístěné v příloze dokumentu. [22] [42]



-  Úmrtí
-  Poranění
-  Bez poranění
-  Matka a dítě, matka úmrtí/dítě poranění

**Obrázek 13. Zdravotní následky nehody pro jednotlivé osoby na palubě (včetně znázornění porušení struktury letadla). [22]**

## 6.2.5 Důsledky nehody

Kegworthská nehoda poukázala na to, že pasivní bezpečnosti v letecké dopravě by měl být věnován větší prostor (hlavně rozsáhlejší výzkum). Zbytečným zmařením několika desítek lidských životů došlo k upozornění, že kabiny letadel potřebují doznat značných úprav a změn. Pozitivním jevem bylo naopak zachránění mnoha dalších životů díky sedadlům, která již v předstihu splňovala nové nároky na ně kladené. Sumarizaci důležitých poznatků z této nehody poskytují závěry dokumentu uveřejněného oddělením pro vyšetřování leteckých nehod úřadu pro dopravu, nejdůležitějšími z nich jsou:

- Již zmíněné konstatování, že úpravou 13 předpisů JAR (FAR) 25.562 dojde ke zvýšení bezpečnosti cestujících díky sedadlům odolávajícím větším zatížením.
- K podstatnému zvýšení šancí na přežití je potřeba úpravy struktury podlahy kabiny tak, aby systém sedadel při nárazu zůstal na svých místech. Další možností zvýšení bezpečnosti cestujících jsou další, detailnější úpravy sedadel.
- Návrh a požadavek výzkumu různých alternativních pozic umístění sedadel (se zaměřením na pozici se zadní částí sedadla ve směru letu) a bezpečnostních pásů zabezpečujících fixaci horní části těla osoby.
- Přes splnění požadavků kladených v době nehody příslušnými paragrafy došlo u všech nadhlavových skříněk k jejich oddělení od jejich upevnění, která nebyla schopna čelit dynamickým zátěžím vzniklým při nárazu. Náležitě zlepšení je nutno provést také u jejich zámků dveří, které se po prvním z nárazů otevřely. V souvislosti s tím došlo k uvolnění předmětů ohrožujících osoby na palubě. [22] [42]

Tato nehoda se pro pasivní bezpečnost ve svém oboru stala významnou (ne-li vůbec tou nejvýznamnější) nejen vzhledem k jejímu dokonalému prozkoumání a popisu z pohledu právě této bezpečnosti, ale hlavně díky tomu, že závěry vyšetřování se staly hlavní hnací silou pro zlepšení úrovně pasivní bezpečnosti. Zásadních vylepšení tak doznaly nadhlavové skříňky i struktura podlahy, které jsou nyní konstruovány mnohem bezpečnější, než tomu bylo před nehodou v Kegworthu. [22] [42]

## 7 Budoucnost pasivní bezpečnosti v letecké dopravě

V této kapitole se nachází stručné představení dvou systémů pasivní bezpečnosti, kterým by v tomto oboru mohla být věnována větší pozornost v budoucnosti. Tyto dva systémy jsou příkladem toho, jak se tvoří návrhy nových prvků, které reagují na nejnovější výzkumy a trendy v bezpečnosti letecké dopravy.

### 7.1 Systém záchranného padáku u letadel

Padáku jako systému pro zpomalení různých objektů (osob, nákladu) je využíváno již déle jak celé století. Již od začátku našel uplatnění nejen jako prostředek transportu objektu z paluby letadla na zem (nejčastěji ve vojenské službě), ale také jako prostředek umožňující nouzové opuštění letadla. Ostatně slovo parašutismus je složeninou francouzských slov para-chránit a chute-pád. [30]

Ke své záchraně osoba nejčastěji využívá „osobního“ padáku a to po opuštění prostor letadla. Možnost rychlé „evakuace“ je rozhodující vzhledem k nutnosti otevření padáku před dosažením určité výšky vzhledem k místu možného dopadu. U vojenských letadel bylo nalezeno optimální řešení spočívající ve vystřelení (pomocí pyronáloží, či raketového motoru) sedadla i s pilotem. Z určitých důvodů je použití osobních padáků pro většinu letadel civilní letecké dopravy neproveditelné. Například u větších dopravních letadel je opuštění stroje často několika stovky pasažérů prakticky nerealizovatelné. [7] [12]

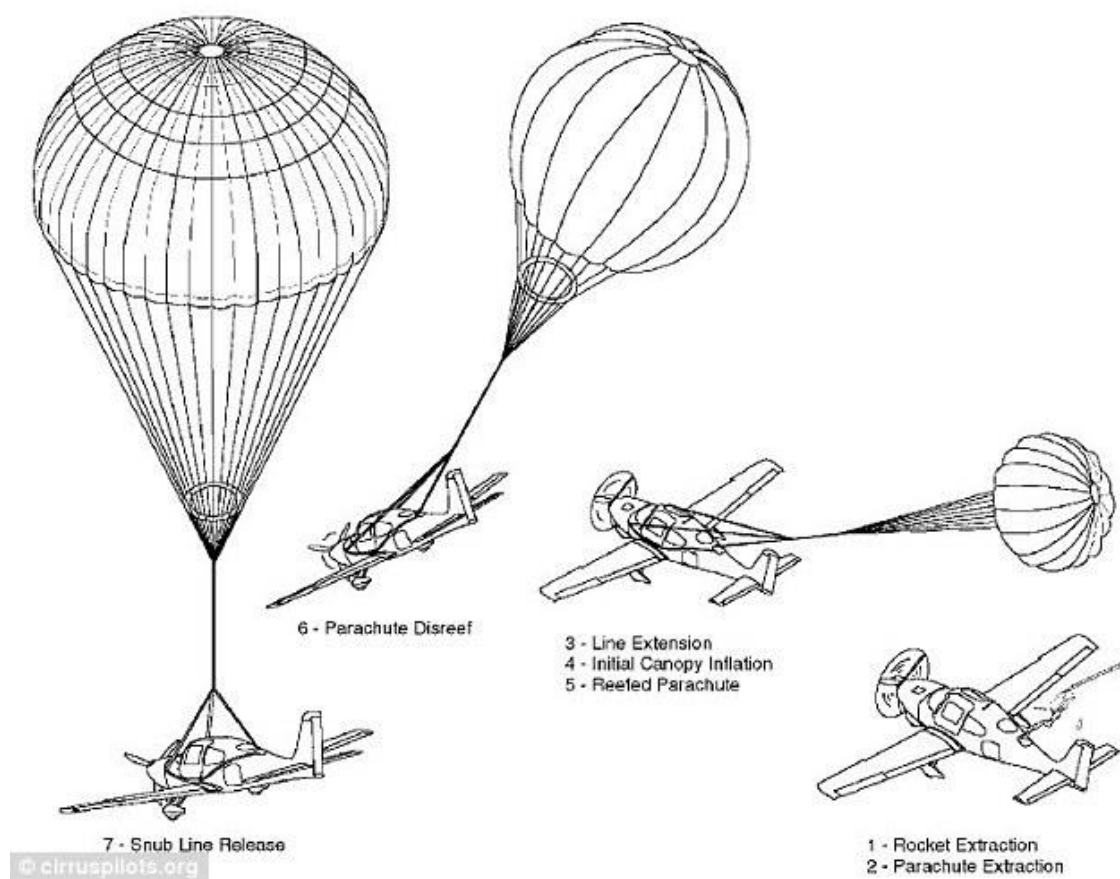
Možnost zachránit lidské životy na palubě tak zůstala plně na pilotových schopnostech a na bezpečnostních prvcích, aktivujících se při nárazu. Tento stav přetrvával (a bohužel pro větší část civilní letecké dopravy stále přetrvává) až do roku 1982. Tehdy byl poprvé představen systém záchranného padáku firmou Ballistic Recovery Systems (BRS). Tuto firmu založil Boris Popov, pár let poté, co se na palubě kluzáku při letecké nehodě zřítil do jednoho z jezer v americkém státě Minnesota. Ačkoliv z nehody vyvázl s pouze lehkými zraněními, moc dobře si uvědomoval, jak blízko smrti se nacházel. Jeho snaha, motivovaná právě touto událostí, umožnit přežít letecké nehody i dalším osobám vyústila ve výrobu, instalaci a roku 1983 také první úspěšnou premiéru prvku, kterému jednoznačně lze přiřadit přívlastek revoluční. [7] [12]

Vyvinutý systém je založen na jednoduchém principu padákového snesení letadla na zem. Padák je nejdříve umístěn do speciální nádoby, ke které je zároveň připevněn raketový pohon (ať již přímo v nádobě, hlavně ve verzích pro nejlehčí letadla, nebo mimo nádobu, což



je využíváno pro již o něco těžší letadla). Nádoba i s jejím případným pohonem je umístěna dovnitř trupu letadla. Nejčastěji do míst nákladového prostoru (či těsně za něj) u letadel jakými jsou například Cirrus SR22, či Cessna 172. K raketovému pohonu je vnitřkem letadla veden aktivační kabel, který v pilotní kabině začíná klikou aktivace celého systému. Velmi důležité je i správné uchycení, v případě nouze již aktivovaného, padákového systému ke konstrukci letadla. [12] [29]

Po rozhodnutí využít záchranného systému musí pilot s letadlem zaujmout nejlepší, aktuálně možnou pozici pro úspěšné rozvinutí padákového systému. Následně zatáhne za kliku aktivace, která se nejčastěji nachází nad hlavou pilota. Následná sekvence událostí provázející úspěšné rozvinutí padákového systému je na obrázku číslo 13. [29]



**Obrázek 14. Sled událostí po aktivaci systému pilotem. [11]**

Přes původní odmítavý postoj mnohých pilotů, leteckých inženýrů a dalších osob pohybujících se v letecké dopravě, se tento systém stal velmi úspěšným zachráncem lidských životů. K 19. 8. 2015 si firma BRS nárokuje záchranu 324 lidských životů. Jedním z větších výrobců letadel, který začal svoji spolupráci s touto firmou již roku 1998, je Cirrus

Aircraft. Systém zavedl jako standardní výbavu svých letadel a pojmenoval ho Cirrus Airframe Parachute System (CAPS). Velmi zajímavé jsou statistiky vedené pro tento systém. Ke dni 7. 7. 2015 piloti letadel Cirrus aktivovali systém CAPS v 66 případech, z toho v 53 došlo k úspěšnému rozevření padákového systému. Zachránit se tak povedlo 107 lidských životů (v jednom případě došlo bohužel k úmrtí). Přes zřejmý primární úkol ochrany osob na palubě letadel, došlo překvapivě (například i pro samotnou firmu Cirrus) ve 14 případech i k opravě a následné další službě letadel, která využila systému CAPS. [11]

## 7.2 Systém zmírnění nárazu

Již ke konci roku 1999 si izraelská zbrojařská firma Rafael nechala patentovat koncepci použití vnějších bezpečnostních airbagů u vrtulníků. Pro firmu sídlící v zemi, kde jsou ozbrojené střety a s tím často spojené nasazení vrtulníků (ať již přímo bojových, či transportních) na denním pořádku, je vývoj bezpečnostních prvků pro tyto stroje jedním z primárních úkolů. Pokud je navíc vývoj některého z prvků kontraktem ze strany jedné z nejmocnějších armád (americké armády), je zajištěn dostatečný přísun potřebných peněžních prostředků, stejně jako testovacích kapacit a zkušených odborníků. [49]

Rotorcraft External Airbag Protection System (REAPS) jak byl tento systém nazván již prošel i několika testy. Jedna série těchto testů se odehrála na americké půdě na vrtulnicích Bell 206 (fotografie z tohoto testu je na obrázku 14.) a je pokládána za úspěšné potvrzení předcházejícího výzkumu a vývoje tohoto systému. Síly a zátěže působící na testovací figuríny se nacházely hluboko pod legislativně stanovenými limity a ke všemu u obou testovacích vrtulníků došlo pouze k opravitelným škodám. Další z testů proběhl již v samotném Izraeli a to pod dohledem tamějšího vojenského letectva. Test provedený na trupu vrtulníku Sikorsky CH-53 (což je jeden z největších vrtulníků světa) byl, dle vyjádření vojenského letectva, úspěšný. Potenciál tohoto systému zaregistroval například i samotný výrobce vrtulníků firma Bell. Jeden z největších výrobců vrtulníků na světě si tak nechal roku 2013 patentovat svůj, lehce pozměněný návrh systému podobného REAPS. [40]



**Obrázek 15. Test vnějších airbagů umístěných na vrtulníku Bell 206. [40]**

Dalším, kdo se o možnost zmírnit náraz vnějšími prvky posléze zajímal, byl americký Národní úřad pro letectví a kosmonautiku (zkráceně a známěji NASA). Její oddělení ve výzkumném centru v Langley, The Landing and Impact Research Facility (LandIR), se zabývá studiem nárazů odlišných leteckých konstrukcí již od sedmdesátých let minulého století. V průběhu desítek let věnovaných tomuto tématu se vědcům v Langley podařilo vyzkoumat mnoho souvislostí a možných vylepšení interakcí letecká konstrukce-zem a letecká konstrukce-člověk. Tato, nejčastěji sedadel a podlah leteckých konstrukcí týkající se zdokonalení, našla svá uplatnění a přispěla k vyšší bezpečnosti celého oboru. S přibývajícimi vylepšeními a lety, se však možnost ještě zásadněji ovlivnit bezpečnost těchto prvků snižovala. I u zmíněných prvků je totiž klíčovým parametrem pro letecké konstrukční kanceláře také hmotnost a s tím související objem (šířka, výška), které není možné zvyšovat přes určité meze. Závěrem plynoucím z výše zmíněných problematik byl návrh zaměření pozornosti na výzkum a vývoj prvku nového, který svůj objem dokáže zvýšit alespoň krátkodobě. [14]

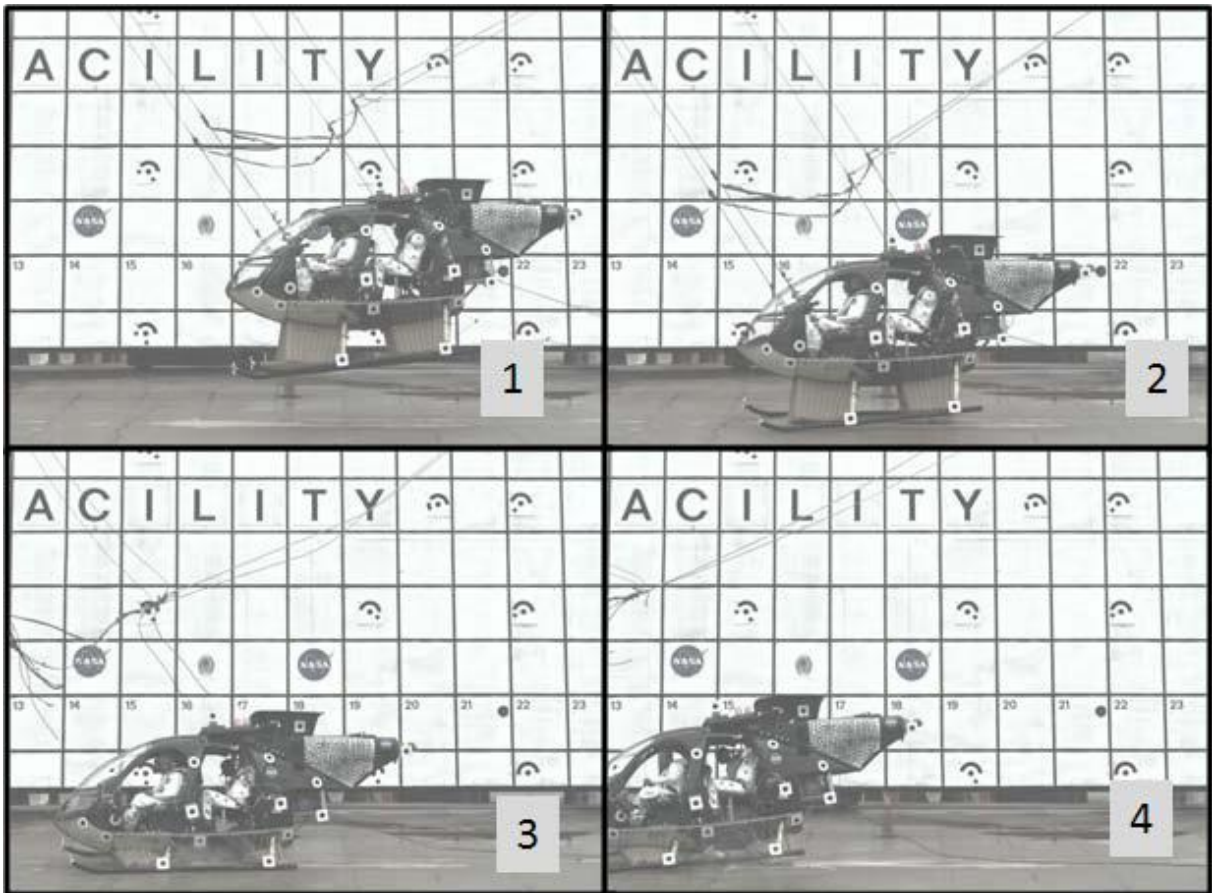
NASA svůj nový prvek pasivní bezpečnosti nazvala Deployable Energy Absorbing concept (DEA). Ač pracuje na stejném principu jako airbag, již na první pohled je zřejmé, že se od klasické konstrukce airbagu znatelně odlišuje. Tvořen je voštinovou strukturou a závěsy, umožňujícími pohyb struktury (viz obrázek 15.). Systém by měl posléze fungovat tak, že voštinová struktura by měla zůstat za normálních okolností složena, zabírajíc minimální

objem a teprve těsně před nárazem by mělo dojít k jejímu rozvinutí. Materiál, následně používaný na výrobu systému, nebyl dosud ještě přesněji určen. Avšak nejčastěji jsou pro testování používány kevlarovo/epoxydové kompozity. [14]



**Obrázek 16. Voštinová struktura systému DEA v aktivované pozici. [14]**

System se nachází ve fázi vývoje, testování a dalších úprav, nicméně test provedený za účelem prověření jeho účinnosti potvrdil správnost této vývojové cesty. Test se odehrál na základně v Langley a použitou leteckou konstrukcí byl vrtulník MD-500. Sekvenci záběrů pořízených při tomto testování můžeme vidět na obrázku 16., na následující straně. Detailní analýza dat potvrdila, že systém voštinové konstrukce výrazně omezil následky způsobené nárazem (dopadem). Různé typy figurín, přítomné během testu na palubě vrtulníku, zároveň určily, k jaké změně může dojít v rozsahu zranění vzniklých při podobných incidentech. [14]



**Obrázek 17. Vrtulník MD-500 s instalovaným systémem DEA (dva krychlové útvary pod kabinou) při simulaci nárazu. [14]**

### 7.3 Návrh, či změna konstrukce prvků pasivní bezpečnosti

Ačkoliv jsou oba výše zmíněné prvky stále ve fázi větších úprav, podrobnějších studií a dalších testování a proto je prostor pro návrhy jejich změn a úprav téměř neomezený, z mého pohledu nejvýraznější možnost vylepšení pasivní bezpečnosti u letadel (ale také vrtulníků a dalších leteckých konstrukcí) skýtá prostá kombinace těchto prvků. Právě nutnost vylepšování více prvků současně nám prokázala nehoda u Kegworthu, kdy přes modernizaci sedadel došlo k zbytečně příliš vysokému počtu úmrtí také kvůli tomu, že sedadla, ačkoliv poměrně bezpečná, neměla dostatečnou oporu v podlaze kabiny, která se rozpadla a sedadla tak nebyla schopna udržet na svých místech.

Oba prvky mají své vlastní výzkumné programy u NASA, a proto by případný kooperační výzkum neměl skýtat mnoho problémů. Úspěch záchranných padákových systémů u menších letadel již vědce z NASA přesvědčil pro výzkum možnosti implementace těchto

systemů do letadel větších a rychlejších. Právě současným využitím druhého z těchto systémů by, dle mého uvážení, mohlo dojít k dostatečnému překonání sil a zátěží, které by při použití pouze jednoho z prvků byly příliš nebezpečné. Případnou kombinací systémů u letadel s již prověřenou možností využití záchranného padákového systému by také mohlo dojít nejen k dalšímu zvýšení bezpečnosti osob na palubě, ale také k častějším případům možnosti opravy a následného uvedení letadla zpět do provozu.

K posouzení nejlepších pozic pro umístění, parametrů systémů a dalších s konstrukcí spojených problémů, je potřeba dalších testů a výzkumů, při kterých by klíčovým bodem bylo současné použití obou systémů se zaměřením na jejich vzájemnou interakci.

Možnost, že k součinnosti obou systémů dojde již v blízké budoucnosti, je podle názoru autora poměrně velká. Prvními „vlaštovkami“ budou zřejmě vrtulníky, v závěsu následované lehčími letadly všeobecného letectví. Následně by k využití mohlo docházet u stále větších (těžších a rychlejších) letadel. S dalším posunem technologií, opět dle autorova názoru, není nereálné ani budoucí (ve větším časovém horizontu) využití u leteckých konstrukcí velikostí dnes nejčastěji pro přepravu osob používaných letadel (například Airbus A320, Boeing B-737).

## 8 Závěr

V letecké dopravě je o mnoho větší pozornost věnována bezpečnosti aktivní. Logická a zřejmá snaha je tedy leteckým nehodám primárně předcházet. I přesto je velmi důležité se pasivní bezpečností v letectví nejen zabývat, ale také nadále zlepšovat její úroveň. Problém u letadel, pro osobní leteckou dopravu nejčastěji používaných, se nalézá u samotných provozovatelů, výrobců, ale také cestujících. Výrobci stále častěji prezentují svá letadla prostřednictvím parametrů, spojených hlavně s ekonomickou výhodností jejich provozování, jakými jsou například spotřeba paliva, či maximální platící zatížení. Tyto parametry jsou nicméně úzce spjaty s hmotností letadla. Například snížíme-li totiž hmotnost konstrukce, snížíme zároveň spotřebu paliva letadla. Tímto se stane letadlo pro letecké společnosti ekonomicky výhodnější (oproti letadlu stejnému, neodlehčenému) a vyrábějící firmě tak vzrůstá pravděpodobnost úspěšného prodeje. Po zavedení ekonomicky výhodnějších letadel do své flotily, jsou letecké společnosti vystaveny nižším nákladům za provozování letadel. Dosáhnutí co nejnižších provozních nákladů je samozřejmě jedním z cílů všech společností, provozujících (nejen) leteckou techniku. Cestujícím, díky pravděpodobně lepším finančním situacím leteckých společností, mohou být nabídnuty levnější letenky a tím dochází také k jejich uspokojení. Proto jsou pasivní bezpečnostní prvky omezeny (z pohledu jejich chytivosti) svými váhovými příspěvky k celkové hmotnosti konstrukce. Vyšší šance na přežití letecké nehody, díky například robustnější konstrukci sedadel, tak ustupují otázce peněžní.

Tento stav je dále podporován častým, všeobecně rozšířeným názorem, že leteckou nehodu nelze s nejvyšší pravděpodobností přežít. Široká veřejnost tak nepovažuje za nutné systémy pasivní bezpečnosti dále upravovat. Zvláště pokud by se jí tyto úpravy nějakým způsobem dotkly. Opět hlavně finančně, či snížením úrovně komfortu cestování. Jedním z hlavních cílů této práce bylo osvětlit skutečný stav problematiky možnosti přežití leteckých nehod a to srozumitelnou formou, tak aby i letecký laik mohl porozumět jejím základům.

Detailní studie leteckých nehod přinášejí pro bezpečnost letectví nedocenitelné poznatky. Pokud by vyšetřovatelé nehod byli schopni analyzovat biomechaniku nárazu tak přesně, jako mechaniku poškození samotného letadla, otevřela by se ohromná příležitost pro letecké konstruktéry a další osoby, schopné tyto poznatky využít ve prospěch pasivní bezpečnosti. Samozřejmě se mnohé letecké nehody odehrají způsobem, vylučujícím možnost podrobnějších ohledání paluby letadla, nebo jiných studií spjatých s touto bezpečností. V této práci uvedené nehody však dokazují, že v případě možnosti, je nutno trosky paluby letadla velmi podrobně prozkoumat a posoudit nejen síly a zátěže na osoby působící, ale také úspěšnost činnosti systémů pasivní bezpečnosti a případné zkušenosti, které si z konkrétní nehody můžeme vzít.

Dalším neideálním stavem je letitá aktualizace zkušebních procesů. Jak je v práci několikrát uvedeno, významné změny, týkající se právě procesů certifikací leteckých sedadel, byly provedeny v minulém století a to ještě před začátkem jeho posledního desetiletí. Od té doby se například průměrné parametry člověka výrazně proměnily. Neschopnost reakce mnohých mezinárodních institucí na měnící se dynamické parametry je nebezpečným jevem, jenž může připravit o život mnoho osob, které by v případě adekvátních reakcí, bylo možno zachránit.

Pasivní bezpečnost letecké dopravy je velmi specifický obor. Rostoucí aplikace bezpečnostních systémů ve všeobecném letectví je důležitým jevem, který zachraňuje mnohé životy a může, díky zde nabitým zkušenostem a poznatkům, vést ke zlepšení takových prvků i u obchodní letecké dopravy.

Věřím, že tato práce obsahuje množství zajímavých faktů, které osloví jak v letectví znalé, tak naprosté laiky. Zároveň doufám, že z vypracování práce získané poznatky, zkušenosti a znalosti, dále využijí, ať při tvorbě dalších prací, či při dalším studiu této problematiky.



## 9 Použité zdroje

### 9.1 Literatura

- [1] KOVANDA, Jan; ŠATOCHIN, Vladimír. *Pasivní bezpečnost vozidel*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02235-8.
- [2] YOGANANDAN, Narayan; NAHUM, Alan; MELVIN, John; THE MEDICAL COLLEGE OF WISCONSIN INC. *Accidental Injury: Biomechanics and Prevention*. 3. vydání. New York: Springer, 2015. ISBN 978-1-4939-1731-0.

### 9.2 Internetové zdroje

- [3] *Abbreviated Injury Scale* [online]. 2015-01-06 [cit. 2015-08-13]. Dostupné na [www: <https://en.wikipedia.org/wiki/Abbreviated\\_Injury\\_Scale>](http://www.wikipedia.org/wiki/Abbreviated_Injury_Scale).
- [4] *Airbag: Aerospace and military applications* [online]. 2015-08-08 [cit. 2015-08-12]. Dostupné na [www: <https://en.wikipedia.org/wiki/Airbag#Aerospace\\_and\\_military\\_applications>](http://www.wikipedia.org/wiki/Airbag#Aerospace_and_military_applications).
- [5] *Airbag Performance in General Aviation Restraint Systems* [online]. 2011-01-11 [cit. 2015-08-12]. Dostupné na [www: <http://www.nts.gov/safety/safety-studies/Documents/SS1101.pdf>](http://www.nts.gov/safety/safety-studies/Documents/SS1101.pdf).
- [6] *Airbus A380* [online]. 2015-08-4 [cit. 2015-08-05]. Dostupné na [www: <https://en.wikipedia.org/wiki/Airbus\\_A380>](http://www.wikipedia.org/wiki/Airbus_A380).
- [7] *Ballistic Recovery Systems* [online]. 2015-08-10 [cit. 2015-08-17]. Dostupné na [www: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ballistic\\_Recovery\\_Systems>](http://www.wikipedia.org/wiki/Ballistic_Recovery_Systems).
- [8] *Boeing 737* [online]. 2015-08-05 [cit. 2015-08-05]. Dostupné na [www: <https://en.wikipedia.org/wiki/Boeing\\_737>](http://www.wikipedia.org/wiki/Boeing_737).
- [9] BRICKHOUSE, Anthony. *The Science of Survivability* [online]. 2011 [cit. 2015-08-09]. Dostupné na [www: <http://www.oma.noaa.gov/aviationsafety/pdf/\(Brickhouse\)The%20Science%20of%Survivability-1.pdf>](http://www.oma.noaa.gov/aviationsafety/pdf/(Brickhouse)The%20Science%20of%Survivability-1.pdf).
- [10] BROULÍKOVÁ, Lenka. *Legislativa v oblasti letecké dopravy* [online]. 2011 [cit. 2015-08-04]. Dostupné na [www: <https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/39441/BroulikovaL\\_Legislativa\\_V\\_Oblasti\\_AH\\_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>](https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/39441/BroulikovaL_Legislativa_V_Oblasti_AH_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [11] *BRS* [online]. 2015-08-17 [cit. 2015-08-17]. Dostupné na [www: <http://www.brsparachutes.com/brs\\_aviation\\_home.aspx>](http://www.brsparachutes.com/brs_aviation_home.aspx).
- [12] *BRS: SAVING LIVES ONE PULL AT A TIME* [online]. 2015 [cit. 2015-08-17]. Dostupné na [www: <http://www.brsparachutes.com/files/brsparachutes/files/chute\\_story\\_small.pdf>](http://www.brsparachutes.com/files/brsparachutes/files/chute_story_small.pdf)

>.

- [13] *Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes: CS-25* [online]. 2015-07-15 [cit. 2015-08-08]. Dostupné na [www: <https://easa.europa.eu/system/files/dfu/CS-25%20—%20Amendment%2017\\_0.pdf>](https://easa.europa.eu/system/files/dfu/CS-25%20—%20Amendment%2017_0.pdf).
- [14] *Crash Test of an MD-500 Helicopter with a Deployable Energy Absorber Concept* [online]. [cit. 2015-08-18]. Dostupné na [www: <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20100033780.pdf>](http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20100033780.pdf).
- [15] *EASA: Základní informace* [online]. [cit. 2015-08-08]. Dostupné na [www: <http://www.caa.cz/easa/zakladni-informace>](http://www.caa.cz/easa/zakladni-informace).
- [16] *FAA Fact Sheet: Improvements to Aircraft Survivability* [online]. [cit. 2015-08-10]. Dostupné na [www: <http://www.faa.gov/passengers/fly\\_safe/safety\\_improvements/media/faa-factsheet-aircraft-survivability.pdf>](http://www.faa.gov/passengers/fly_safe/safety_improvements/media/faa-factsheet-aircraft-survivability.pdf).
- [17] *General Statistics* [online]. 2015 [cit. 2015-08-05]. Dostupné na [www: <http://www.baa-acro.com/general-statistics/>](http://www.baa-acro.com/general-statistics/).
- [18] *How Do Airbags Get Installed In General Aviation Aircraft?* [online]. [cit. 2015-08-12]. Dostupné na [www: <http://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/avs/offices/afs/divisions/alaskan\\_region/media/sasl\\_web.pdf>](http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/avs/offices/afs/divisions/alaskan_region/media/sasl_web.pdf).
- [19] CHANDLER, Richard. *Brace For Impact Positions* [online]. 1993-12-14 [cit. 2015-08-10]. Dostupné na [www: <http://unitedafa.org/safety/training/docs/brace.pdf>](http://unitedafa.org/safety/training/docs/brace.pdf).
- [20] *IATA: Počet leteckých nehod k počtu letů loni klesl na minimum* [online]. 2015-03-09 [cit. 2015-08-05]. Dostupné na [www: <http://www.ceskenoviny.cz/zpravy/iata-pocet-leteckych-nehod-k-poctu-letu-loni-klesl-na-minimum/1190374>](http://www.ceskenoviny.cz/zpravy/iata-pocet-leteckych-nehod-k-poctu-letu-loni-klesl-na-minimum/1190374).
- [21] *ICAO: About ICAO* [online]. [cit. 2015-08-08]. Dostupné na [www: <http://www.icao.int/about-icao/Pages/default.aspx>](http://www.icao.int/about-icao/Pages/default.aspx).
- [22] *ICEPS* [online]. 2000 [cit. 2015-08-11]. Dostupné na [www: <http://www.transport-research.info/Upload/Documents/200310/lceps.pdf>](http://www.transport-research.info/Upload/Documents/200310/lceps.pdf).
- [23] *INCREASING THE SURVIVAL RATE IN AIRCRAFT ACCIDENTS: impact protection, fire survivability and evacuation* [online]. 1996 [cit. 2015-08-06]. Dostupné na [www: <http://archive.etsc.eu/documents/Increasing\\_survival\\_rate\\_in\\_aircraft\\_accidents.pdf>](http://archive.etsc.eu/documents/Increasing_survival_rate_in_aircraft_accidents.pdf).
- [24] *Informace pro pacienty Neurochirurgické a neuroonkologické kliniky 1.LF UK a ÚVN – Kraniocerebrální poranění* [online]. 2014-10-31 [cit. 2015-08-14]. Dostupné na [www: <http://www.uvn.cz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=615&Itemid=517&limitstart=6&lang=cs>](http://www.uvn.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=615&Itemid=517&limitstart=6&lang=cs).
- [25] *Injury Severity Score* [online]. 2015-07-10 [cit. 2015-08-13]. Dostupné na [www: <http://www.trauma-registry.org/>](http://www.trauma-registry.org/).

- <[https://en.wikipedia.org/wiki/Injury\\_Severity\\_Score](https://en.wikipedia.org/wiki/Injury_Severity_Score)>.
- [26] *Joint Aviation Requirements: JAR-25 Large Aeroplanes* [online]. 1989-10-05 [cit. 2015-08-09]. Dostupné na [www: <http://www.cockpitseeker.com/wp-content/uploads/goodies/fi/JAA%20publications/crd/jar-25-change13.pdf>](http://www.cockpitseeker.com/wp-content/uploads/goodies/fi/JAA%20publications/crd/jar-25-change13.pdf).
- [27] *Kategorie: Bezpečnost dopravy* [online]. 2014-06-01 [cit. 2015-08-01]. Dostupné na [www: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kategorie:Bezpečnost\\_dopravy>](https://cs.wikipedia.org/wiki/Kategorie:Bezpečnost_dopravy).
- [28] *Komplexní poranění pánve* [online]. [cit. 2015-08-14]. Dostupné na [www: <http://www.akutne.cz/res/publikace/damage-control-komplexniho-poraneni-panve-ruber-v.pdf>](http://www.akutne.cz/res/publikace/damage-control-komplexniho-poraneni-panve-ruber-v.pdf).
- [29] *Owner's manual and general installation guide for BRS-6 emergency parachute recovery systems* [online]. [cit. 2015-08-17]. Dostupné na [www: <http://www.brs-vertrieb.de/wp-content/uploads/pdf/owners\\_manual.pdf>](http://www.brs-vertrieb.de/wp-content/uploads/pdf/owners_manual.pdf).
- [30] *Padák* [online]. 2014-08-27 [cit. 2015-08-17]. Dostupné na [www: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Padák>](https://cs.wikipedia.org/wiki/Padák).
- [31] *Pan Am Flight 103* [online]. 2015-08-04 [cit. 2015-08-06]. Dostupné na [www: <https://en.wikipedia.org/wiki/Pan\\_Am\\_Flight\\_103>](https://en.wikipedia.org/wiki/Pan_Am_Flight_103).
- [32] *Pánev (anatomie)* [online]. 2015-08-10 [cit. 2015-08-14]. Dostupné na [www: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Pánev\\_\(anatomie\)>](https://cs.wikipedia.org/wiki/Pánev_(anatomie)).
- [33] *Pojmy: Bezpečnost* [online]. 2015 [cit. 2015-08-01]. Dostupné na [www: <http://www.mvcz.cz/clanek/pojmy-bezpecnost.aspx>](http://www.mvcz.cz/clanek/pojmy-bezpecnost.aspx).
- [34] *Poranění břicha* [online]. [cit. 2015-08-14]. Dostupné na [www: <http://www.unob.cz/fvz/npp/Documents/Skripta\\_BATLS/11%20Abdominal%20Trauma.pdf>](http://www.unob.cz/fvz/npp/Documents/Skripta_BATLS/11%20Abdominal%20Trauma.pdf).
- [35] *Poranění hrudníku* [online]. [cit. 2015-08-14]. Dostupné na [www: <https://mefanet-motol.cuni.cz/download.php?fid=690>](https://mefanet-motol.cuni.cz/download.php?fid=690).
- [36] *Poranění hrudníku* [online]. [cit. 2015-08-14]. Dostupné na [www: <http://www.unob.cz/fvz/npp/Documents/Skripta\\_BATLS/08%20Chest%20Trauma.pdf>](http://www.unob.cz/fvz/npp/Documents/Skripta_BATLS/08%20Chest%20Trauma.pdf).
- [37] *Poranění pánve a končetin* [online]. [cit. 2015-08-14]. Dostupné na [www: <http://www.unob.cz/fvz/npp/Documents/Skripta\\_BATLS/12%20Limb%20and%20Pelvic%20Injury.pdf>](http://www.unob.cz/fvz/npp/Documents/Skripta_BATLS/12%20Limb%20and%20Pelvic%20Injury.pdf).
- [38] *Předpisy* [online]. [cit. 2015-08-03]. Dostupné na [www: <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>](http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm).
- [39] *Předpisy: Letecké předpisy* [online]. 2011 [cit. 2015-08-08]. Dostupné na [www: <http://www.caa.cz/predpisy/letecke-predpisy>](http://www.caa.cz/predpisy/letecke-predpisy).
- [40] *Rafael's airbag protection for helicopters proves maximum survivability* [online]. [cit. 2015-08-18]. Dostupné na [www: <http://www.vccafe.com/2005/12/19/rafaels-airbag-protection-for-helicopters-proves-maximum-survivability/>](http://www.vccafe.com/2005/12/19/rafaels-airbag-protection-for-helicopters-proves-maximum-survivability/).

- [41] *Regulations* [online]. [cit. 2015-08-08]. Dostupné na www: <<https://www.easa.europa.eu/regulations>>.
- [42] *Report on the accident to Boeing 737-400 G-OBME near Kegworth, Leicestershire on 8 January 1989* [online]. 1990-08-25 [cit. 2015-08-15]. Dostupné na www: <[https://assets.digital.cabinet-office.gov.uk/media/5422fefe915d13710009ed/4-1990\\_G-OBME.pdf](https://assets.digital.cabinet-office.gov.uk/media/5422fefe915d13710009ed/4-1990_G-OBME.pdf)>.
- [43] *Safety Report* [online]. 2014 [cit. 2015-08-07]. Dostupné na www: <[http://www.icao.int/safety/documents/icao\\_2014%20safety%20report\\_final\\_02042014\\_web.pdf](http://www.icao.int/safety/documents/icao_2014%20safety%20report_final_02042014_web.pdf)>.
- [44] *Seat Belts and Shoulder Harnesses: Smart Protection in Small Airplanes* [online]. 2004 [cit. 2015-08-11]. Dostupné na www: <[https://www.faa.gov/pilots/safety/pilotsafetybrochures/media/seatbelt\\_web2.pdf](https://www.faa.gov/pilots/safety/pilotsafetybrochures/media/seatbelt_web2.pdf)>.
- [45] *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents: Worldwide Operations* [online]. 2014 [cit. 2015-08-03]. Dostupné na www: <[http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/company/about\\_bca/pdf/statsum.pdf](http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/company/about_bca/pdf/statsum.pdf)>.
- [46] *Survivability of Accidents Involving Part 121 U.S. Air Carrier Operations, 1983 Through 2000* [online]. 2001 [cit. 2015-08-07]. Dostupné na www: <<http://www.nts.gov/safety/safety-studies/Documents/SR0101.pdf>>.
- [47] *ToR 26.002 Issue 1* [online]. 2010-09-17 [cit. 2015-08-08]. Dostupné na www: <<http://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/EASA-ToR-26.002-01-17092010.pdf>>.
- [48] *UK: Lockerbie pair 'could have survived'* [online]. 1999-01-31 [cit. 2015-08-07]. Dostupné na www: <[http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk\\_news/267865.stm](http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/267865.stm)>.
- [49] *United States Patent: External airbag protection system for helicopters* [online]. 1999-11-30 [cit. 2015-08-18]. Dostupné na www: <<https://docs.google.com/viewer?url=patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US5992794.pdf>>.

## 10 Seznam obrázků

- Obrázek 1.** Statistika ročních počtů leteckých nehod s následkem ztráty letadla konstruovaného pro více než 6 pasažerů (vrtulníky, balóny a bojová letadla nejsou zahrnuty).
- Obrázek 2.** Průměrný počet nehod letadel s maximální vzletovou hmotností nad 5700 kg vztažený k milionu vzletů.
- Obrázek 3.** Procentuální podíl přeživších a úmrtí při nehodách letadel amerických dopravců v letech 1983 až 2000.
- Obrázek 4.** Procentuální rozdělení počtu nehod v jednotlivých fázích letu pro rok 2013.
- Obrázek 5.** Příklad umístění airbagů uvnitř vnějších ramenních popruhů u letadla Cirrus.
- Obrázek 6.** Aktivovaný airbag, během zkoušení za pomoci zkušebního vozíku.
- Obrázek 7.** Nárazem a následným ohněm poničený Airbus A320-200 a násep (vpravo), který před svým zastavením překonal.
- Obrázek 8.** Zdravotní následky nehody pro jednotlivé osoby na palubě.
- Obrázek 9.** Závažnost a příčiny vzniku poranění způsobených osobám přítomným na palubě letadla.
- Obrázek 10.** Pozice a poškození Boeingu 737-400 po nehodě nedaleko runwaye (přibližně 630 m od prahu dráhy) u města Kegworthu.
- Obrázek 11.** Sekvence pohybu letadla, složená ze dvou samostatných nárazů, při jeho nehodě.
- Obrázek 12.** Popis modelu 4001 sedadel společnosti Weber Aircraft (nyní Zodiac Seats U.S.).
- Obrázek 13.** Zdravotní následky nehody pro jednotlivé osoby na palubě (včetně znázornění porušení struktury letadla).
- Obrázek 14.** Sled událostí po aktivaci systému pilotem.
- Obrázek 15.** Test vnějších airbagů umístěných na vrtulníku Bell 206.
- Obrázek 16.** Voštinová struktura systému DEA v aktivované pozici.
- Obrázek 17.** Vrtulník MD-500 s instalovaným systémem DEA (dva krychlové útvary pod kabinou) při simulaci nárazu.

## 11 Seznam tabulek

**Tabulka 1.** Statistiky a charakteristiky leteckých nehod.

**Tabulka 2.** Příklady zranění odpovídajících různým bodovým hodnocením AIS.

**Tabulka 3.** Teoretické hodnoty nejvyšších zpomalení působících ve střední části trupu letadla vypočítané počítačovou simulací KRASH.

## **12 Seznam příloh**

1. Tabulka poranění jednotlivých cestujících při nehodě u Kegworthu