



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

KONSTRUKČNÍ PRVKY A ČÁSTI TRUPU VELKÉHO DOPRAVNÍHO LETOUNU A JEJICH PROVEDENÍ

CONSTRUCTION PARTS AND ELEMENTS OF THE LARGE TRANSPORT AIRCRAFT FUSELAGE
STRUCTURE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Filip Zubaľ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Letecký ústav
Student: **Filip Zubař**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojírenství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.**
Akademický rok: 2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Konstrukční prvky a části trupu velkého dopravního letounu a jejich provedení

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Při návrhu konstrukce trupu velkých dopravních letounů se ustálilo konstrukční řešení využívající poloskořepinovou konstrukci. Je zde však řada dílčích uzlů, např. stykovací přepážky, okna, dveře, kabina, kokpit, či podlahy, které jsou navrženy s typickým provedením pro kovové materiály a kompozitní materiály. Ukazuje se vhodným proto provést systematické zpracování katalogu vybraných uzlů a jejich popsání.

Cíle bakalářské práce:

V rámci literární rešerše zpracujte a systematicky seřadte jednotlivé konstrukční uzly používané u velkých dopravních letounů. Pro každý uzel popište jeho funkci, provedení a doplňte obrázkem, či schématem.

Katalog následně převedte do formy umožňující využití ve formě prezentace i pro výukové účely.

Seznam doporučené literatury:

internetové odkazy výrobců Boeing a Airbus.

Niu, M.,C.; Airframe Structural Design, Conmilit Press, Ltd. ISBN: 962-7148-04-X, Hong Kong 1989.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

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

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Konštrukcia trupu lietadiel je oblasťou leteckého inžinierstva, ktorá kombinuje aerodynamiku s konštrukčným a materiálovým inžinierstvom. Existuje veľa faktorov, ktoré ovplyvňujú stavbu a konštrukciu trupu lietadla. Bakalárska práca sa zameriava na spracovanie a systematické zoradenie jednotlivých konštrukčných uzlov používaných pri veľkých dopravných lietadlách. Poukazuje na rôznorodosť jednotlivých konštrukčných uzlov pri návrhu lietadla. Práca je rozdelená podľa jednotlivých častí trupu lietadla, kde sú následne rozoberané konkrétne konštrukčné riešenia pre daný uzol. V závere práce uvádzam porovnanie dvoch najznámejších konkurenčných modelov lietadiel spoločností Airbus a Boeing. Poukazujem na jednotlivé kombinácie konštrukčných prvkov, porovnávané údaje sú spracované pomocou tabuliek a schematických obrázkov. Bakalárska práca bola taktiež spracovaná do formy prezentácie určenej pre výukové účely.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

trup, lietadlo, konštrukcia, kabína, kokpit, prepážky, poťah

ABSTRACT

Fuselage design is an area of aerospace engineering that combines aerodynamics with mechanical and material engineering. Many factors affect the construction and design of the fuselage. The bachelor thesis is focused on the processing and systematic ordering of individual structural units used in large transport aircraft. It points out the diversity of individual structural nodes in the design of the aircraft. The work is divided according to sections of the fuselage, where the specific design solutions for the node are then discussed. At the end of the work, I present a comparison of the two most famous competing aircraft models of Airbus and Boeing company. I pointed out the individual combinations of structural elements. Compared data are processed using tables and schematic figures. The bachelor thesis was also translated into a form of presentation intended for educational purposes.

KEY WORDS

fuselage, airplane, construction, cabin, cockpit, frame, bulkhead, skin

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

ZUBAL, Filip. *Konstrukční prvky a části trupu velkého dopravního letounu a jejich provedení* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139187>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce Jaroslav Juračka.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému *Konštrukčné prvky a časti trupu veľkého dopravného lietadla a ich prevedenie* písal samostatne pod vedením vedúceho práce doc. Ing. Jaroslava Juračku, Ph.D. pri použití uvedenej literatúry a zdrojov v zozname.

V Brne dňa 05.05.2022

.....
Filip Zubaľ

POĎAKOVANIE

Ďakujem môjmu vedúcemu bakalárskej práce pánovi doc. Ing. Jaroslavovi Juračkovi, Ph.D. za dohľad a cenné rady pri spracovaní práce. Následne chcem poďakovať rodičom a kamarátom za podporu počas celého štúdia.

OBSAH

1	Úvod.....	6
2	Problematika trupu lietadla.....	7
2.1	Základné druhy konštrukcie trupov lietadiel.....	9
2.1.1	Priehradkový trup	9
2.1.2	Škrupinová konštrukcia trupu	10
2.1.3	Pološkrupinová konštrukcia trupu	11
2.2	Materiály	12
2.2.1	Zliatiny hliníka	12
2.2.2	Kompozitné materiály.....	12
3	Kabína.....	14
3.1	Dvere	15
3.1.1	Nástupné dvere	16
3.1.2	Nákladné dvere.....	20
3.1.3	Núdzové východy	21
3.2	Okná.....	23
3.3	Podlaha.....	25
3.4	Nákladný priestor	27
3.5	Napojenie krídiel k trupu lietadla	29
3.5.1	Uchytenie krídla	30
3.6	Vybavenosť kabíny.....	31
4	Kokpit.....	33
4.1	Tvar prednej časti trupu lietadla	33
4.2	Čelné sklo.....	36
4.3	Usporiadanie kokpitu.....	38
4.4	Vstup do kokpitu.....	41
4.5	Uloženie predného podvozku.....	42
5	Ukončenie trupu lietadla	44
6	Porovnanie konštrukcii lietadiel.....	47
6.1	Rozmery a kapacita lietadiel	47
6.2	Nákladný priestor v Airbus A320 a Boeing 737	53
6.3	Systém dverí pre Airbus A320 a Boeing 737.....	54
6.4	Predná časť lietadla Airbus A320 a Boeing 737	55
6.4.1	Kokpit lietadla Airbus A320 a Boeing 737.....	56
7	Záver.....	58
	Zoznam použitých zdrojov	60

Zoznam obrázkov.....	64
Zoznam tabuliek.....	65
Zoznam príloh.....	66

1 Úvod

Výroba lietadiel je náročným a zložitým procesom. Konštrukcia trupu lietadiel je oblasťou leteckého inžinierstva, ktorá kombinuje aerodynamiku s konštrukčným a materiálovým inžinierstvom. Konštruktéri sa zameriavajú na hmotnosť, pevnosť a aerodynamický odpor, ako aj spoľahlivosť a cenu. Výrobcovia pracujú pod prísnou kontrolou kvality a vládnymi nariadeniami. Tie ovplyvňujú jednotlivé konštrukčné uzly lietadla. Inovácie a odlišnosti od zavedených noriem sa stávajú predmetom skúmania a veľkého záujmu.

Lietadlá pre svoju náročnosť konštrukcie predstavujú jeden z najzložitejších dopravných prostriedkov. Na ich vývoj a výskum sa investuje množstvo finančných prostriedkov, kde cieľom je dosiahnuť optimalizáciu konštrukcie, zvýšenie účinnosti motorov, zníženie emisií, hluku a mnoho ďalších vylepšení. Trup má byť aerodynamický, ale taktiež elegantný. Má odolávať vysokému tlaku, ohybu a fyzikálnym javom pre správnu funkčnosť pri minimalizácii priamych či nepriamych prevádzkových nákladov. No na prvom mieste je bezpečnosť.

Vo všetkých aspektoch leteckého inžinierstva sa používa široká škála počítačovej technológie, ktorá uľahčuje prácu inžinierom. Tieto programy dokážu jednoduchšie odhaliť a poukázať na chybu pri návrhu nových konštrukčných častí lietadiel, ale nesmieme zabúdať na fakt, že software je len pomôcka pre konštruktérov. Ďalej je veľmi užitočnou pomocou pri konštruovaní trupu významný pokrok vo vývoji materiálov, ako napríklad v poslednej dobe veľké využívanie kompozitných materiálov.

Sociálne problémy sú neoddeliteľnou súčasťou našej spoločnosti, a preto pri vývoji lietadiel je nutné si klásť aj tieto otázky. V súčasnej dobe je letecká doprava pod neustálym dohľadom ľudí pre obavy z dopadu vplyvov leteckej dopravy na životné prostredie. Za posledné obdobie tiež môžeme sledovať zvýšenie cien pohonných hmôt, ktoré zásadne vplyvajú na leteckú dopravu. Spaľovanie paliva prispieva ku globálnemu otepľovaniu. Z týchto dôvodov sú výrobcovia nútení vyvíjať a zefektívňovať svoje lietadlá, pre uspokojenie obáv spoločnosti z negatívnych vplyvov leteckej dopravy, ale aj uspokojenia dopytu prepravy tovaru a ľudí naprieč celým svetom.

Cieľom tejto práce je zamerať sa na spracovanie a systematické zoradenie jednotlivých konštrukčných uzlov, používaných pri veľkých dopravných lietadlách. V jednotlivých kapitolách sú uvádzané konkrétne riešenia pre danú oblasť uzlov. Práca taktiež poukazuje na rozvoj používania kompozitných materiálov v stavbe trupu dopravného lietadla, pretože v tejto oblasti našli široké uplatnenie. Ich rastúce využitie vzišlo z vysokej špecifickej pevnosti a tuhosti v porovnaní s ich hmotnosťou, oproti konvenčnejším materiálom a zo schopnosti tvarovať a prispôbovať ich štruktúru tak, aby vytvárali aerodynamicky účinnejšie konštrukčné konfigurácie.

2 Problematika trupu lietadla

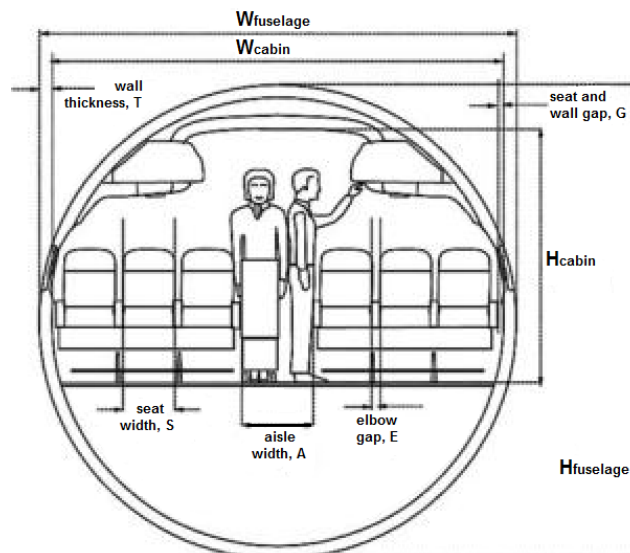
Trup je názov pre hlavnú časť draku lietadla, kde sa nachádzajú piloti, posádka, cestujúci a náklad. K trupu sú následne pripevnené krídla, chvostová časť lietadla a niektoré lietadlá môžu obsahovať aj uchytenia na motory. Trup lietadla nie je len priestor, kde sa nachádzajú cestujúci a posádka. S ohľadom na jeho určenie musí byť dimenzovaný a navrhnutý tak, aby zabezpečil správne a bezpečné fungovanie počas prevádzky.

Existuje veľa faktorov, ktoré ovplyvňujú stavbu a konfiguráciu trupu lietadla. Každý výrobca sa snaží odlíšiť jednotlivé modely lietadiel od ostatných najmä svojim primárnym využitím. Môžeme teda sledovať základné požiadavky na ich konštrukciu. Týmito požiadavkami sú napríklad: nosnosť, hmotnosť, hlučnosť, efektivita, rozmery, bezpečnosť, dolet a iné. Primárnym cieľom lietadiel je preprava tovaru a ľudí na väčšie vzdialenosti, rýchlejšie a pohodlnejšie, než inými dopravnými prostriedkami. Pri veľkých dopravných lietadlách je potrebné zabezpečiť komfort pre cestujúcich v kabíne. Práve pri otázke komfortu sa začínajú objavovať kompromisy v konštrukcii a návrhu trupu lietadla. Moderné lietadlá majú pretlakovú kabínu, ktorá počas letu udržuje stály tlak, teplotu a zabezpečuje výmenu čerstvého vzduchu vo vnútri lietadla. Na začiatku návrhu trupu lietadla sa vychádza z ideálneho tvaru pre tlakovú nádobu, ktorú ukazuje obrázok 2.1. [1]



Obr. 2.1 Ideálny tvar pretlakovej nádoby [1]

Rozmery tejto pretlakovej nádoby sú určené základnými požiadavkami. Pri návrhu rozmerov je určujúca informácia o počte cestujúcich, veľkosti nákladu, ale aj možný dolet. Pre daný počet cestujúcich nám základný rozmer trupu lietadla určuje samotné rozloženie jednotlivých sedadiel. Sedadlá ovplyvňujú nielen priemer, ale aj dĺžku samotného trupu lietadla.



Obr. 2.2 Vplyv rozloženia sedadiel na priemer trupu lietadla [24]

Pokiaľ máme určené základné rozmery, ako je priemer a dĺžka trupu, musíme pre efektívne fungovanie lietadla zaistiť aj správne fungovanie aerodynamiky. Z tohto dôvodu musíme urobiť prvý kompromis v tvare ideálnej pretlakovej nádoby. Jedným z hlavných prispievateľov k celkovej odporovej sile, ktorú vytvára lietadlo počas letu je trup. Preto musí byť detailne tvarovaný, aby bol čo najaerodynamickejší v snahe minimalizovať odpor vzduchu. Samozrejme, treba hľadať rovnováhu medzi nízkym aerodynamickým odporom a komfortom pasažierov. [2]



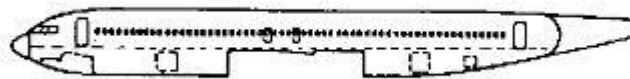
Obr. 2.3 Upravená pretlaková nádoba z pohľadu aerodynamiky [1]

Z prevádzkových dôvodov je nutné trup opatriť rôznymi otvormi. Každý otvor v trupe lietadla predstavuje sériu kompromisov v konštrukcii. Lietadlo potrebuje okná. Prvým a najdôležitejším oknom, ktoré musíme do konštrukcie trupu zahrnúť je čelné sklo nachádzajúce sa na začiatku lietadla. Lietadlá určené na prepravu cestujúcich si vyžadujú okná aj pre samotných cestujúcich. Aby sa posádka a cestujúci mohli dostať do lietadla, musíme pridať nástupné dvere. Jeden z najväčších problémov prepravy pasažierov v lietadle sú ich potreby. Práve preto inžinieri musia zaistiť tieto požiadavky. Potreba dverí na nastupovanie, okná na pozeranie sa von, viacero dverí na nakladanie jedla a dverí na nakladanie batožiny, či nákladu. Nesmieme zabudnúť ani na núdzové východy v prípade evakuácie lietadla. Na obrázku 2.4 môžeme vidieť základné výrezy v trupe lietadla pre cestujúcich. [1]



Obr. 2.4 Základné výrezy v trupe lietadla pre cestujúcich [1]

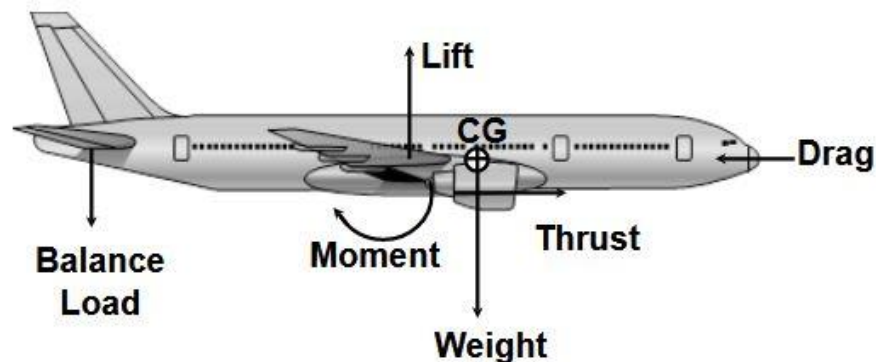
V prípade, že sme vyriešili základné nároky cestujúcich, je ešte potreba vyriešiť uloženie všetkých potrebných systémov, aby lietadlo vôbec letelo. Po pridaní podvozku, radarov, antén, torznej skrine a iných, dostávame finálny tvar trupu lietadla ako je ukázané na obrázku 2.5.



Obr. 2.5 Finálny tvar trupu lietadla [1]

Počas bežného letu je trup lietadla zaťažený kombináciou viacerých zdrojov síl. Základným významným zaťažením, ktoré pôsobí na trup je samotný pretlak vo vnútri kabíny. Nasledujúce zaťaženia od pripojených častí k trupu vytvárajú sily, ktoré najskôr dávajú sily do závesov. Potom sa sily zo závesov prenášajú na konštrukciu v jednotlivých reťazcoch. Spôsobujú zodpovedajúci ťah, tlak, ohyb, krut či posúvajúce sily alebo normálové a šmykové napätia. Nesmieme zabudnúť ani na zotrvačné sily. Konštrukcia musí reagovať aj na vlastné aerodynamické zaťaženie. Ďalšie sily pôsobiace na konštrukciu samotného lietadla sú sily vznikajúce napríklad pri pristávaní, brzdení a mnoho iných. Pri konečnom štruktúrnom usporiadaní návrhu musíme zväžiť aj pohyb posádky, cestujúcich ale aj rozloženie samotnej

batožiny. Všetky tieto záťažové stavy a interakcie rôznych kombinácií zaťaženia sa musia zvážiť, aby sme dospeli ku konečnému návrhu. Konštrukcia musí byť dostatočne pevná a odolná, aby odolala týmto zaťaženiam pri konečnom záťažovom teste, ktorý je určený príslušnými predpismi o letovej spôsobilosti, pre zaistenie bezpečnosti posádky a cestujúcich. [2]



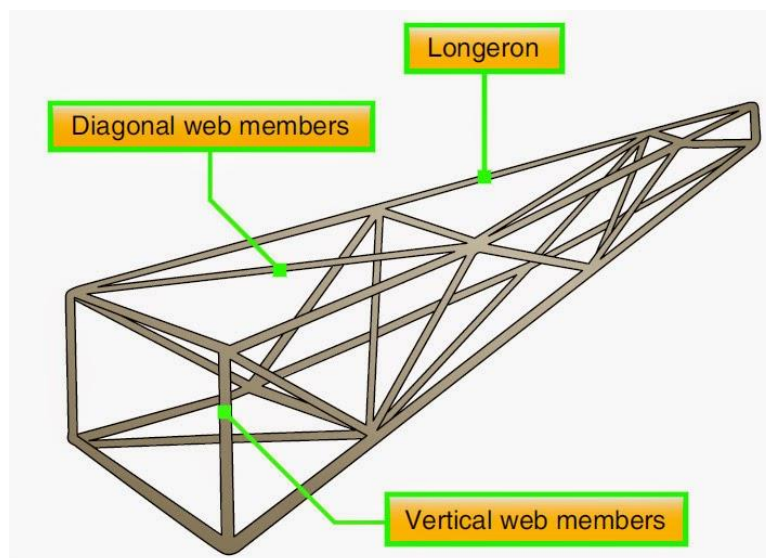
Obr. 2.6 Základné sily pôsobiace na lietadlo [25]

2.1 Základné druhy konštrukcie trupov lietadiel

Existujú tri základné filozofie konštrukcie spojené s usporiadaním typického trupu lietadla. Najbežnejšou filozofiou konštrukcie, ktorá sa používa dodnes pre dopravné lietadlá je pološkrupinová konštrukcia. Táto konštrukcia sa vyvinula z predchádzajúcich návrhov nosníkových a priehradkových konštrukcií. [2]

2.1.1 Priehradkový trup

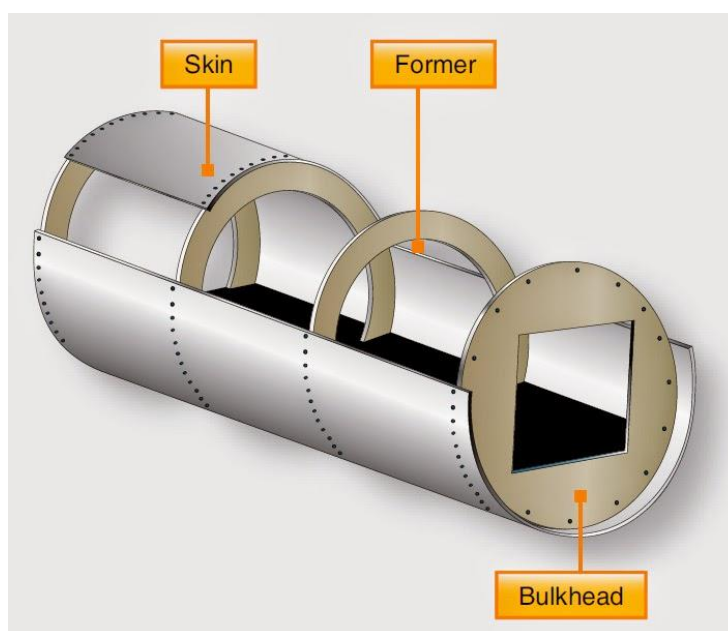
Najstaršie konštrukcie boli postavené zo samonosných priehradkových nosníkov. Priehradkový trup je tuhá konštrukcia zložená z prútov. Pred druhou svetovou vojnou bolo bežné používať na priehradkový trup drevo ako primitívny konštrukčný materiál s natihnutou tkaninou, ktorá poskytovala aerodynamický tvar lietadla. [2] Súčasný rám trupu lietadla je zvyčajne konštruovaný z oceľových, hliníkových alebo aj kompozitných prútov spojených dohromady tak, že všetky prvky môžu niesť tlakové, ale aj ťahové zaťaženie. [3] Nosná konštrukcia je jednoduchá, no vo svojej podstate neefektívna svojím prevedením tým, že je rám pokrytý tkaninou, ktorá síce má veľmi malú hmotnosť, no neposkytuje dostatočnú tuhosť celej konštrukcie. Celé zaťaženie je teda prenášané v prútoch. [2] V niektorých lietadlách, najmä ľahkých jednomotorových modeloch, môže byť rám trupu lietadla skonštruovaný z hliníkovej zliatiny a jednotlivé časti sú znitované alebo priskrutkované do jedného celku. [3]



Obr. 2.7 Priehradková konštrukcia trupu lietadla [3]

2.1.2 Škrupinová konštrukcia trupu

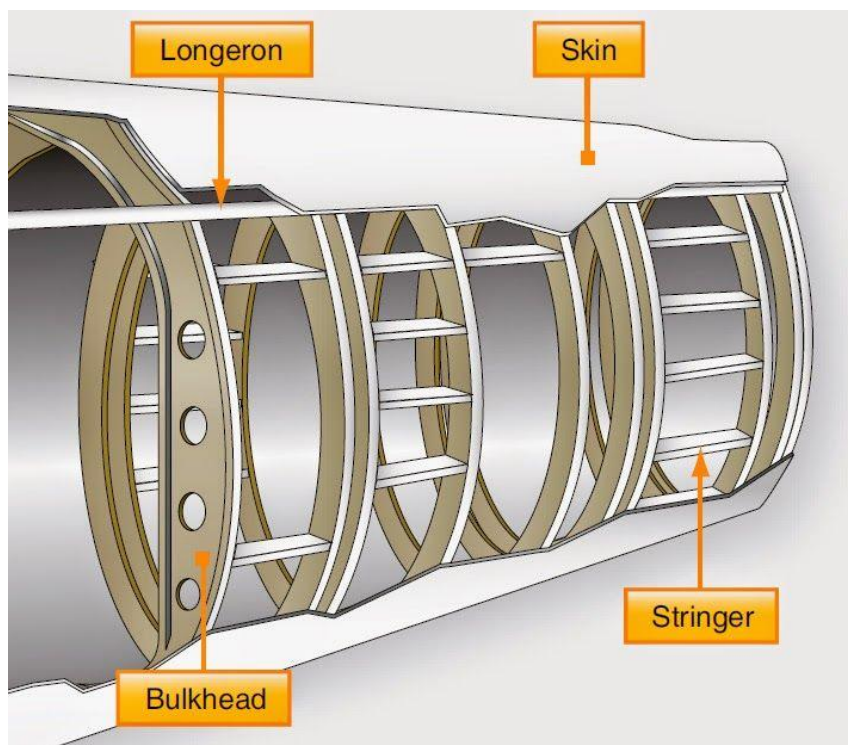
Škrupinová konštrukcia tvorí jednoplášťovú konštrukciu, kde poťah, ktorý tvorí škrupinu nesie všetko zaťaženie a prispieva k celkovej konštrukčnej tuhosti trupu. To môže viesť k ľahkej konštrukcii, pokiaľ je správne navrhnutá, pretože nie je potrebná konštrukcia, ktorá by slúžila na podporu nosného poťahu. [2] Skutočná škrupinová konštrukcia využíva iba prepážky, ktoré dávajú lietadlu požadovaný tvar. [3] Škrupinová konštrukcia má však dve hlavné nevýhody. Prvou nevýhodou je, že poťah musí byť navrhnutý so zložitými tvarmi a krivkami, ktoré sú dané vonkajšou geometriou založenou na aerodynamických požiadavkách, tak aby sa predišlo vybočeniu plášťa pri zaťažení. Druhou nevýhodou je náročnosť zapracovania a rozloženia bodového zaťaženia do konštrukcie. Typické zavedenie bodového zaťaženia do konštrukcie trupu lietadla sú tie, ktoré vznikajú v montážnych bodoch motora alebo v bodoch pripevnenia podvozku. [2]



Obr. 2.8 Škrupinová konštrukcia trupu lietadla [3]

2.1.3 Pološkrupinová konštrukcia trupu

Trup moderného lietadla ako ho poznáme dnes je spevnená škrupina bežne označovaná ako pološkrupinová konštrukcia. Samotná škrupina je nevystužený valec tvorený tenkou povrchovou vrstvou poťahu lietadla. Bez vystuženia poťahu je trup veľkého dopravného lietadla nepoužiteľný, preto ho musíme vystužiť pomocou pozdĺžnikov a prepážok. Na obrázku 2.8 je zobrazená pološkrupinová konštrukcia trupu veľkého dopravného lietadla. [1]



Obr. 2.9 Pološkrupinová konštrukcia trupu lietadla [3]

Pozdĺžniky tvoria pozdĺžne komponenty konštrukcie. Ich primárnym cieľom je prenášať axiálne zaťaženia (ťah a tlak), ktoré vznikajú v dôsledku ohybového zaťaženia trupu. Pozdĺžniky tiež podpierajú poťah lietadla a v kombinácii s prepážkami vytvárajú sekcie, cez ktoré je poťah pripevnený ku konštrukcii. Prepážky sú priečne prvky, ktoré vymedzujú prierez trupu. Zvyčajne sú od seba vzdialené približne 50 centimetrov. Prepážky a pozdĺžniky sú rozmiestnené tak, aby sa zabezpečilo, že vytvorené sekcie podpierajú poťah proti vybočeniu. Prepážky tiež poskytujú možnosť na zavedenie bodového zaťaženia na trup lietadla. Zosilnené prepážky sú potrebné na rozhraní krídlo-trup a chvost-trup na prenos a rozloženie veľkého bodového zaťaženia generovaného týmito plochami. Poťah lietadla je pripevnený k prepážkam a pozdĺžnikom hliníkového lietadla pomocou nitov. Poťah prenáša zaťaženie prostredníctvom šmyku, ktorý je prenášaný do výstuh v podobe prepážok a pozdĺžnikov. V pretlakovom lietadle poťah spolupracuje spolu s prepážkami, tak aby poťah odolal vnútornému tlaku. Schopnosť poťahu niesť a prenášať šmyk je znížená, pokiaľ poťah vybočí. Tento faktor tvorí obmedzenie, ktoré určuje rozstup medzi prepážkami a pozdĺžnikmi. [2]

2.2 Materiály

Na počiatku letectva boli primitívne trupy lietadiel postavené z dreva. Až koncom 20-tych a začiatkom 30-tych rokov 20. storočia začali výrobcovia lietadiel vyrábať trupy zo zliatiny hliníka, ocele a titánu. Tieto kovy ponúkali väčšiu pevnosť a stabilitu konštrukcie. Mnohé vojenské lietadlá sa dnes vyrábajú aj z titánových alebo uhlíkových kompozitných materiálov kvôli jedinečným výhodám. [4]

Moderné dopravné lietadlá sú prevažne vyrobené zo zliatiny hliníka alebo z kompozitu z uhlíkových vlákien. Bežne využívané dopravné lietadlá sú vyrobené z hliníka leteckého typu, avšak novšie lietadlá ako Airbus A350 alebo Boeing 787 sú už vyrobené prevažne z uhlíkových vlákien. [5]

2.2.1 Zliatiny hliníka

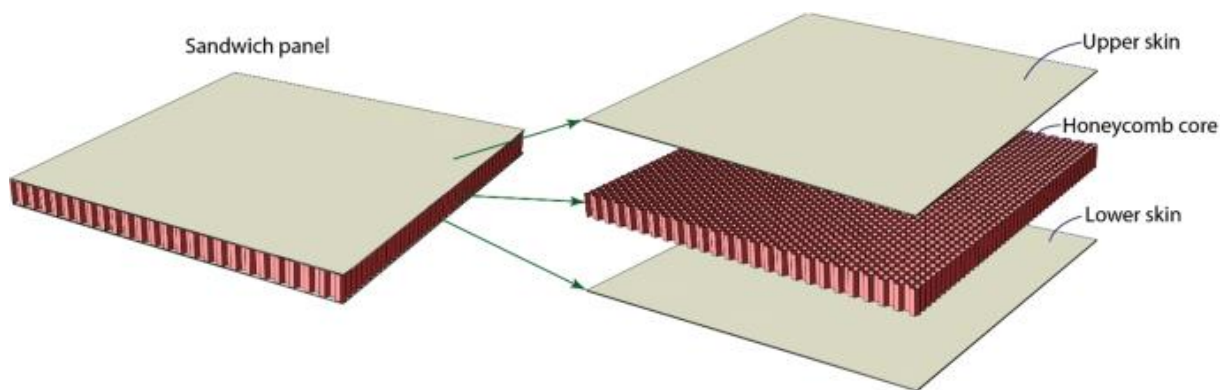
Zliatiny hliníka začali prevládať pri výrobe trupov lietadiel od 20-tych a 30-tych rokov 20. storočia a od začiatku druhej svetovej vojny. Použitie hliníka ako hlavného konštrukčného materiálu začalo postupne vytláčať použitie drevených konštrukcií s látkovým poťahom. Hliník je ideálny materiál na použitie pri výrobe pološkrupinovej konštrukcie trupov lietadiel. Síce nie je taký pevný a tuhý ako oceľ, ale má podstatne menšiu hmotnosť, čo znamená, že je možné použiť hrubšie hliníkové profily bez zvýšenia celkovej konštrukčnej hmotnosti. Hrubšia hliníková konštrukcia je schopná lepšie odolávať vybočeniu ako ekvivalentná tenká oceľová konštrukcia rovnakej hmotnosti. Toto je dôležitá skutočnosť pri navrhovaní pološkrupinovej konštrukcie, kde hliníkový plech môže odolať takmer osemkrát väčšiemu zaťaženiu pri vybočení než oceľový plech rovnakej hmotnosti. [5]

Hliníkové trupy lietadiel sa opravujú ľahšie ako kompozitná konštrukcia a vonkajšie poškodenie sa dá pomerne ľahko identifikovať. To je na rozdiel od kompozitov výhodnejšie, pretože u kompozitných materiálov je poškodenie často vnútorné a nie je viditeľné na povrchu. [5]

2.2.2 Kompozitné materiály

Kompozitný materiál používaný pri výrobe lietadiel sa vo všeobecnosti skladá z dvoch základných materiálov. Vrstvy uhlíkových alebo sklenených vlákien, ktoré sú uložené medzi vrstvami živice, ktoré spoja materiál k sebe a dávajú kompozitu jeho tvar. Vlákna sú primárnym nosným materiálom, a preto je kompozit veľmi pevný v smere vlákien. Živica poskytuje pevnosť v celom priereze daného dielu. Kompozitný „sendvič“ je populárny dizajn, kde je medzi dvomi vrstvami z uhlíkových vlákien vložený voštinový materiál (honeycomb), ktorý konštrukcii dodáva pevnosť v rovine a aj mimo tejto roviny. Zatiaľ čo hliníkový plát je rovnako pevný vo všetkých smeroch. Primárna nosnosť materiálu z uhlíkových vlákien je v smere vlákien. Toto je výhoda aj nevýhoda. Kompozitné usporiadanie môže byť prispôbené konkrétnemu smeru zaťaženia, čo znamená, že ak je smer zaťaženia dobre definovaný, môže byť navrhnutá ľahšia konštrukcia. Ak sa skutočné zaťaženie líši od navrhovaného zaťaženia a smer zaťaženia sa mení, materiál môže byť príliš slabý na to, aby uniesol zaťaženie, ktoré ním prechádza. Kompozitné diely sa zvyčajne skladajú z kombinácie vrstiev uhlíkových vlákien 0° , 45° a 90° , aby poskytli pevnosť vo všetkých

hlavných smeroch. Uhlíkové vlákno je zvyčajne uprednostňované pred sklom v konštrukcii lietadla, pretože má vyššiu ohybovú tuhosť a je tiež oveľa ľahšie. No samotné uhlíkové vlákna sú krehkejšie ako sklo, čo vedie k materiálu s relatívne nízkou odolnosťou proti nárazu. Oblasť na lietadle, ktoré sú vystavené nárazom, ako napríklad predná hrana krídel. Tieto časti sú často pokryté vrstvou skla nad samotnými uhlíkovými vláknami, aby sa zabezpečila potrebná ochrana proti nárazu. Dve hlavné výhody uhlíkového kompozitu oproti tradičnejšej hliníkovej konštrukcii je štruktúra, ktorá môže byť až o 30 % ľahšia, pokiaľ je správne navrhnutá. A navyše oveľa hladšia povrchová úprava so zložitými zakriveniami, prispôbená tak, aby sa minimalizoval odpor vzduchu. To môže poskytnúť zlepšenie výkonu oproti klasickým hliníkovým lietadlám podobného určenia. Uhlíková konštrukcia je náročnejšia na výrobu ako hliník, pretože v skutočnosti sa vytvára štruktúra aj materiál súčasne. [5]



Obr. 2.10 Kompozitný sendvičový panel [26]

Kontroly a opravy kompozitu sú tiež náročnejšie na realizáciu, pretože k poškodeniu kompozitu často dochádza vo vnútri materiálu, ktoré nie je viditeľné pre ľudské oko. Zdá sa, že kompozitné materiály predstavujú budúcnosť výroby leteckých konštrukcií, najmä na väčších lietadlách, s ohľadom na rýchlosť technologického pokroku, kde veľké výhody kompozitného trupu lietadla prevažujú nad dodatočnými nákladmi, ktoré vznikajú pri výrobe, a nad náročnejšími kontrolami a opravami počas prevádzky lietadla. [5]

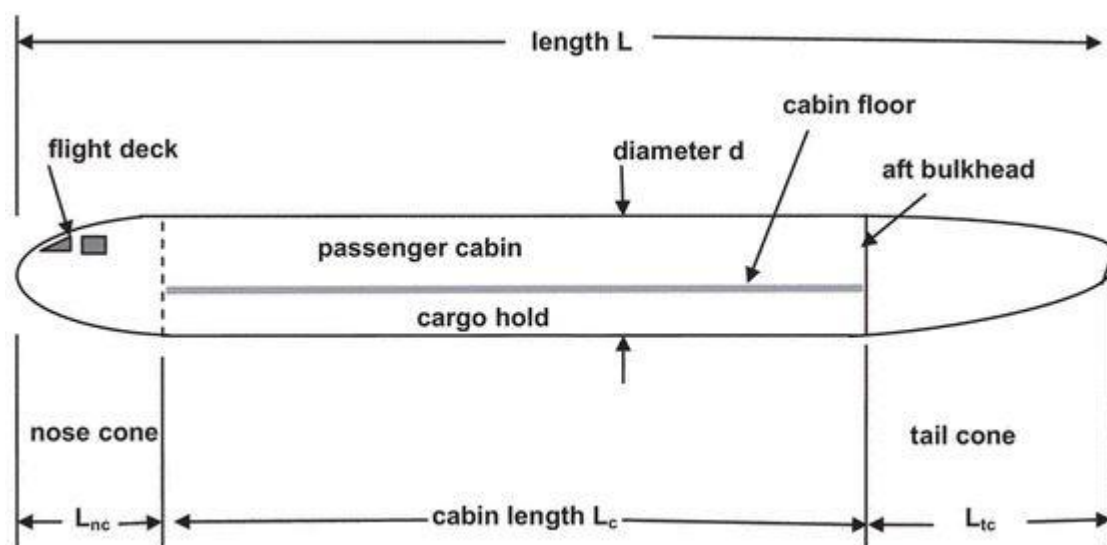
3 Kabína

Kabína je časť lietadla, v ktorej sa prepravuje najväčšia časť nákladu. V komerčnom letectve náklad v kabíne lietadla tvoria cestujúci a ich batožina alebo samotný náklad. Z týchto dôvodov musíme aj v tejto oblasti trupu lietadla dbať na určité konštrukčné prvky a požiadavky:

- zvýšenie komfortu a atraktivity sedenia cestujúcich,
- rozloženie a usporiadanie priestoru v kabíne,
- bezpečnosť cestujúcich počas letu a aj počas mimoriadnych situácií,
- jednoduchá manipulácia s nákladom pri nakladaní a vykladaní,
- správna úspora miesta a hmotnosti,
- minimalizácia hluku,
- uloženie množstva ovládacích systémov lietadla potrebných pre let,
- vystuženie napojenia chvostovej časti a krídel k trupu lietadla.

Toto sú len niektoré z mnohých požiadaviek, ktoré by mala kabína spĺňať. Napriek tomu, že tieto faktory musíme brať do úvahy pri konštrukcii trupu lietadla, musíme niektoré z nich obmedziť z dôvodu zachovania minimálnej konštrukčnej hmotnosti a aerodynamického odporu aby sme do zásadnej miery neovplyvňovali výkon samotného lietadla ako aj počiatkové a prevádzkové náklady s tým spojené. Celkový tvar a rozmery do značnej miery určujú efektivitu návrhu a tie sú zas ovplyvnené konkrétnym určením daného lietadla. [6] Pri dopravných lietadlách je dĺžka a priemer samotnej kabíny ovplyvnený počtom cestujúcich a z toho vychádzajúcim usporiadaním sedadiel.

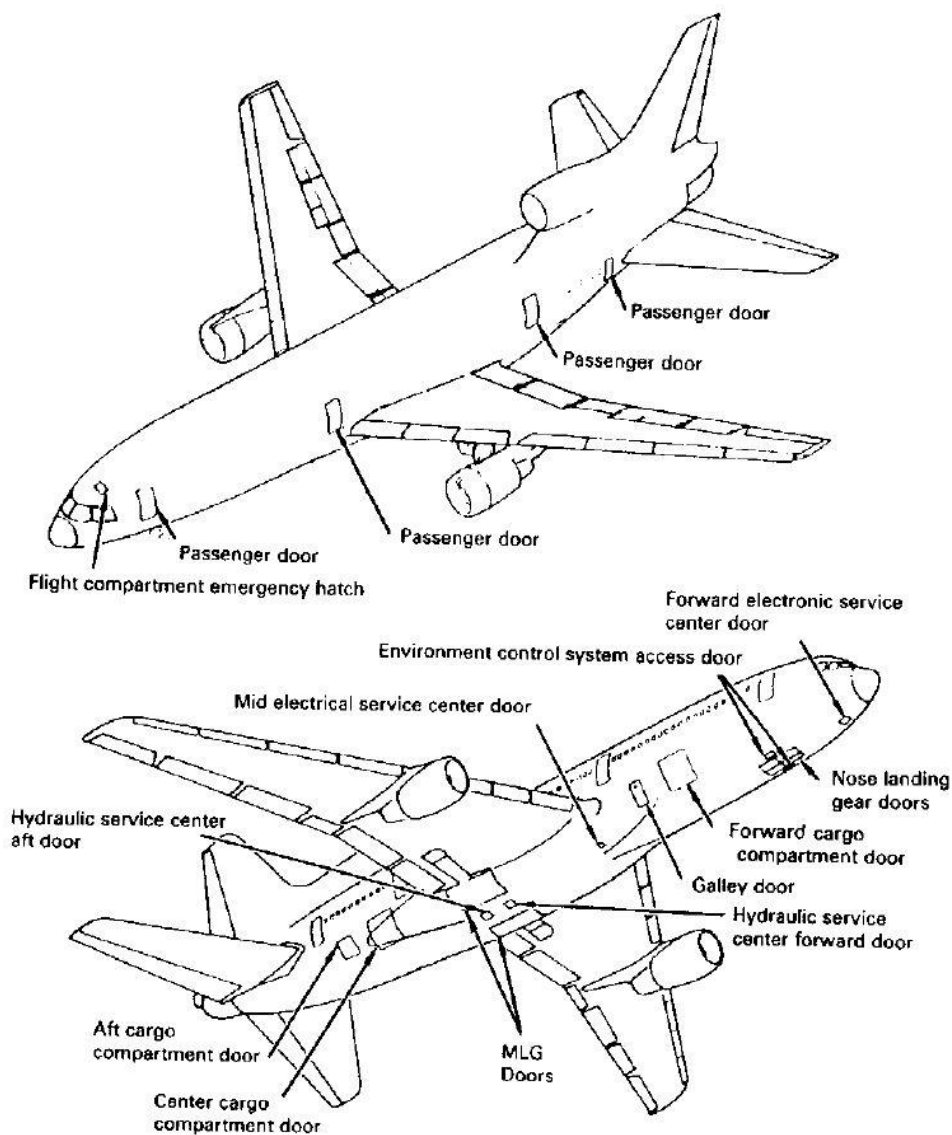
Tvar prierezu kabíny je vo všeobecnosti kruhový, alebo takmer kruhového tvaru práve pre svoje výhody v štruktúre a aj pri výrobe. Pretože kabína pre cestujúcich tvorí najväčší objem trupu lietadla, je na ňu zameraná veľká pozornosť. [6] Vďaka svojej veľkosti obsahuje veľký počet konštrukčných uzlov, ktoré musia konštruktéri vyriešiť.



Obr. 3.1 Schematické zobrazenie kabíny lietadla [6]

3.1 Dvere

Trupy dopravných lietadiel obsahujú množstvo výrezov rôznych veľkostí a tvarov, umiestnených v rôznych oblastiach kabíny. Niektoré otvory sú malé, ako napríklad otvory potrebné pre servisné úkony. Tie si vyžadujú len lokálne vystuženie okolo otvorov, zvyčajne vo forme zdvojenia poľahu lietadla. V týchto prípadoch je zvyčajne bezpečné predpokladať, že materiál odstránenej časti poľahu sa rovná materiálu pridaného zdvojením. Avšak výrezy pre dvere, ako tie, ktoré sú znázornené na obrázku 3.2, sa často vyskytujú na miestach, kde je potrebné odolávať vysokým zaťaženiám, a preto je potrebná dostatočne pevná konštrukcia na prenášanie zaťaženia okolo daných otvorov. Otvory pre dvere si vyžadujú inštaláciu zárubní, ako aj spevnenie priliehajúcej vnútornej konštrukcie. Štúdia panelových modifikácií veľkých dverí na prepravu cestujúcich odhalila približný pomer pridaného materiálu k odobranému materiálu tri ku jednej (bez dverí a ovládacieho mechanizmu). [1]

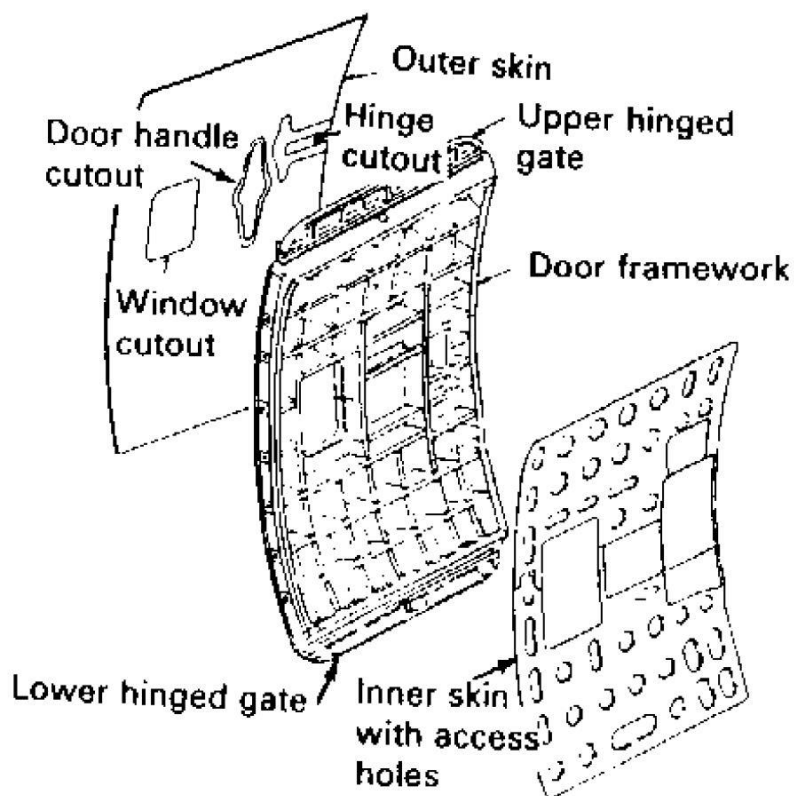


Obr. 3.2 Schéma rozloženia dverí v lietadle L-1011 [1]

Dvere a špeciálne východy pre dopravné lietadlá musia spĺňať určité predpisy na zaistenie bezpečnosti a pohodlia cestujúcich. Tieto predpisy stanovujú autorizované vládne agentúry ako je FAA (Federal Aviation Administration) pre USA a EASA (European Union Aviation Safety Agency) pre Európsku úniu, ktoré sa musia dodržiavať pri navrhovaní a výrobe všetkých certifikovaných dopravných lietadiel. Tieto pravidlá zahŕňajú napríklad aj vonkajší povrch dverí na lietadlách, ktorý musí byť vybavený zariadeniami na uzamykanie dverí a na zabezpečenie proti otvoreniu za letu buď neúmyselne osobami nachádzajúcimi sa v lietadle alebo v dôsledku mechanického zlyhania. Dvere musí byť možné otvoriť buď zvnútra alebo zvonku, aj keď pri dverách z vnútornej strany budú tlačiť osoby brániace otvoreniu dverí. Systémy otvárania musia byť jednoduché, zrejmé a musia byť usporiadané a označené z vnútornej strany ale aj z vonkajšej strany tak, aby sa dali ľahko nájsť a ovládať aj v tme a zhoršenej viditeľnosti. [1]

3.1.1 Nástupné dvere

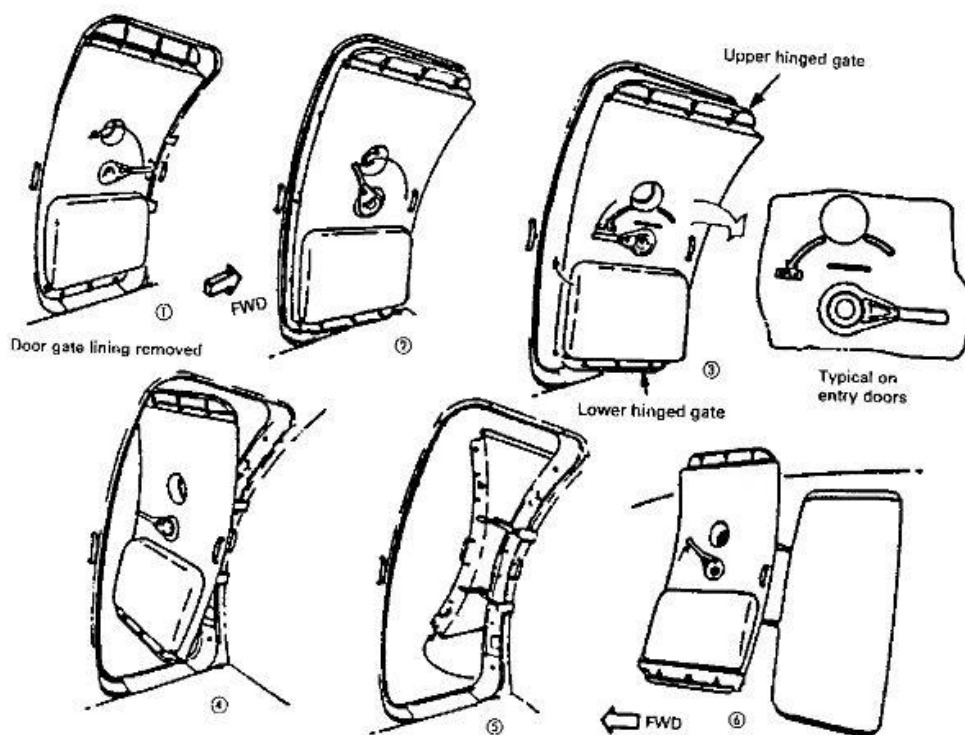
Dvere pre pretlakové dopravné lietadlo musia byť oveľa pevnejšie a zložitejšie ako dvere pre ľahké lietadlo. Dvere sa zvyčajne skladajú zo silnej rámovej konštrukcie, ku ktorej je prinitovaný vonkajší poťah lietadla. Poťah sa prispôbuje obrysu vonkajšieho tvaru trupu lietadla. Príklad konštrukcie dverí je znázornený na obrázku 3.3. Samotná veľkosť dverí je veľmi dôležitým parametrom pri konštrukcii, preto sa dbá na rozmery, ako aj na celkovú plochu dverí. Umiestnenie vo vertikálnej rovine trupu lietadla je dôležité aj z hľadiska toho, či sa dvere nachádzajú v oblasti pôsobiaceho tlaku, ťahu alebo šmyku. Rovnako významné môže byť aj umiestnenie v horizontálnej rovine. [1]



Obr. 3.3 Plug-type konštrukcia dverí B737 [1]

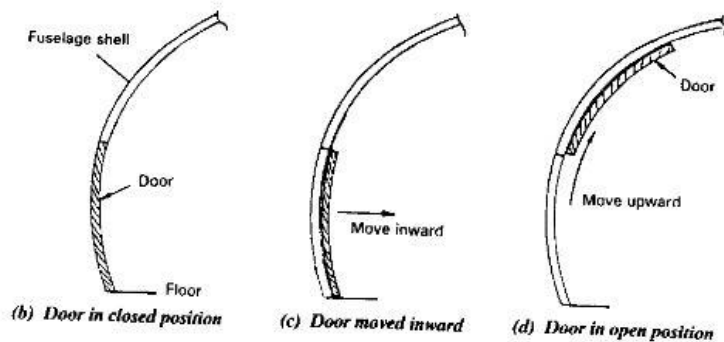
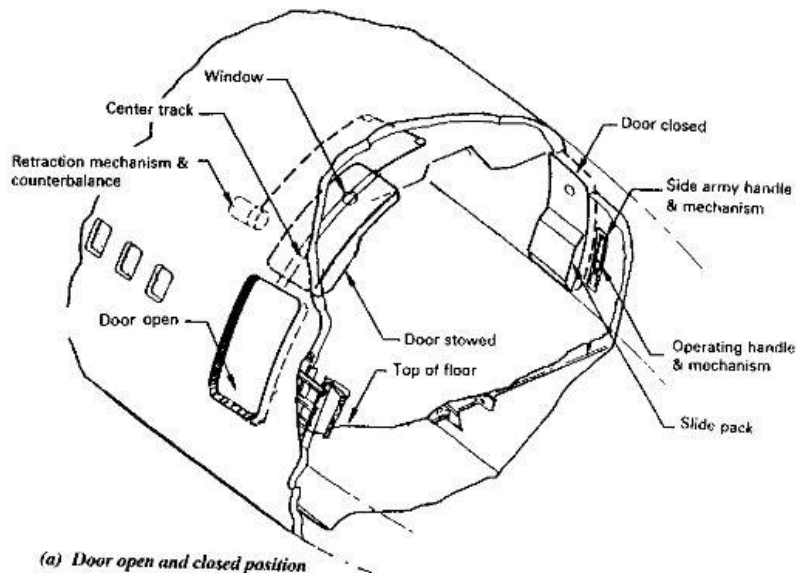
Konštrukcia jednotlivých dverí sa výrazne líši. Okrem vplyvu veľkosti a umiestnenia má funkčný návrh dverí značný vplyv na konštrukčnú hmotnosť. Vo všeobecnosti sa dvere rozdeľujú podľa typu na: „Plug a non-plug“ typ. Rozdiel nastáva v spôsobe otvárania a nosnosti. Ak by počas letu došlo k poruche západkového alebo závesného mechanizmu, vnútorný tlak udrží dvere na mieste. Všetky vstupné a servisné pretlakové dvere sú „Plug-type“ dvere. No napríklad pre rýchlo-otváracie prístupové dvere v nepretlakových priestoroch trupu lietadla je použitý druh západkových nenamáhaných dverí „latch-type non-stressed doors“, ktoré sa používajú aj na bojových stíhacích lietadlách a malých lietadlách bez pretlakového trupu. [1]

Na obrázku 3.4 je zobrazený „Swing opening system“, kde na hornom a spodnom okraji dverí sú sklopné plochy, ktoré umožňujú zmenšiť skutočnú výšku dverí, aby sa dali vyklopiť von cez otvor dverí. Závesný a ovládací mechanizmus dverí je pomerne zložitý, aby sa zabezpečilo nevyhnutné manévrovanie pri pohybe dverí mimo lietadla pri nástupe a výstupe cestujúcich. Pre zabezpečenie pretlaku vo vnútri pretlakového trupu, sú dvere navrhnuté tak, aby fungovali ako „zástrčka - plug“ a tlak pôsobiaci v kabíne pevne zaistil dvere na svojom mieste. Aby sa dosiahlo tohto efektu, dvere musia byť širšie ako ich otvor v poťahu a musia byť vo vnútri lietadla, pričom tlak ich vytláča smerom von. [1]



Obr. 3.4 Swing opening door [1]

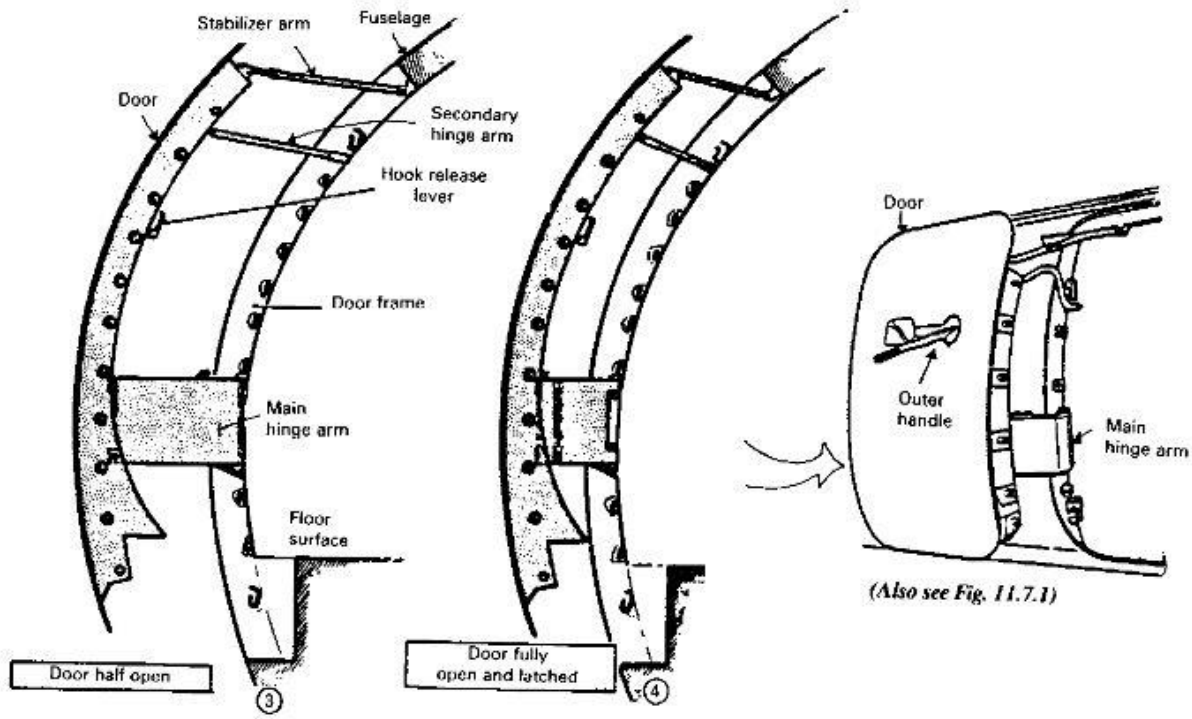
Obrázok 3.5 znázorňuje vertikálne posúvajúce sa „plug-type“ dvere pre cestujúcich, ktoré sa otvárajú najprv pohybom dovnútra a potom posúvaním nahor v posuvných koľajniciach. Dvere sú uložené vo vnútri trupu, chránené pred vplyvmi počasia a možnosťou poškodenia pri nastupovaní cestujúcich. Tieto dvere sa bežne ovládajú elektricky, buď pomocou panelu vo vnútri kabíny alebo z vonkajšieho ovládacieho panela. Dvere sú dobre vyvážené, a práve preto aj v prípade výpadku elektrickej energie a v núdzových situáciách je v hnacom mechanizme zabezpečené odpojenie od automatického otváracieho mechanizmu, takže sa dajú ľahko manuálne otvoriť. [1]



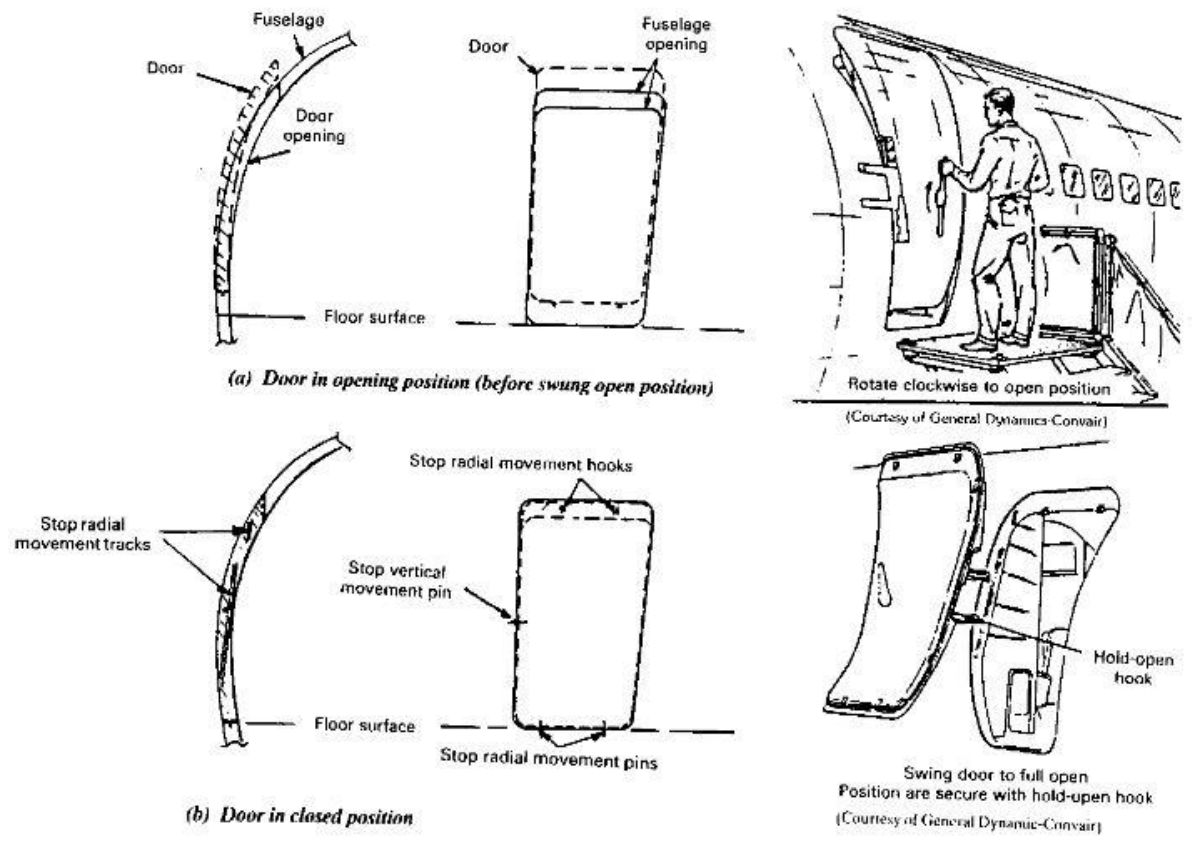
Obr. 3.5 Vertikálne posúvajúce sa dvere [1]

Dvere pre cestujúcich a servisné dvere zobrazené na obrázku 3.6 sú tiež „plug-type“ dvere. Otvárajú a zatvárajú sa na paralelnom závesnom mechanizme v horizontálnom smere. Mechanizmus nesúci dvere zasúva a vysúva výstupky na dverách do a z otvorov v zárubni. Na zabránenie samovoľného otvorenia dverí počas letu, ak by došlo k strate tlaku na palube lietadla, je namontovaný mechanický zámok. Za normálnych podmienok a pôsobenia vnútorného tlaku na dvere je zabránené neúmyselnému otvoreniu. [1]

Dvere, ktoré sú znázornené na obrázku 3.7, sú lichobežníkové „tapered plug-type“ dvere. Sú tak pomenované kvôli ich vertikálnemu posuvnému mechanizmu a následného vyklopenia von z lietadla pričom trup lietadla v oblasti dverí je skosený. Predná hrana týchto dverí je takmer zvislá, zatiaľ čo zadná hrana je naklonená, čo spôsobuje zaklínenie dverí, keď sú v zatvorenej polohe. Mechanizmus ovládajúci pohyb dverí pomocou systému lán pohybuje s kolíkom, ktorý v prípade poruchy lana zablokuje pohyb prednej hrany dverí, aby zostali dvere zatvorené. [1]



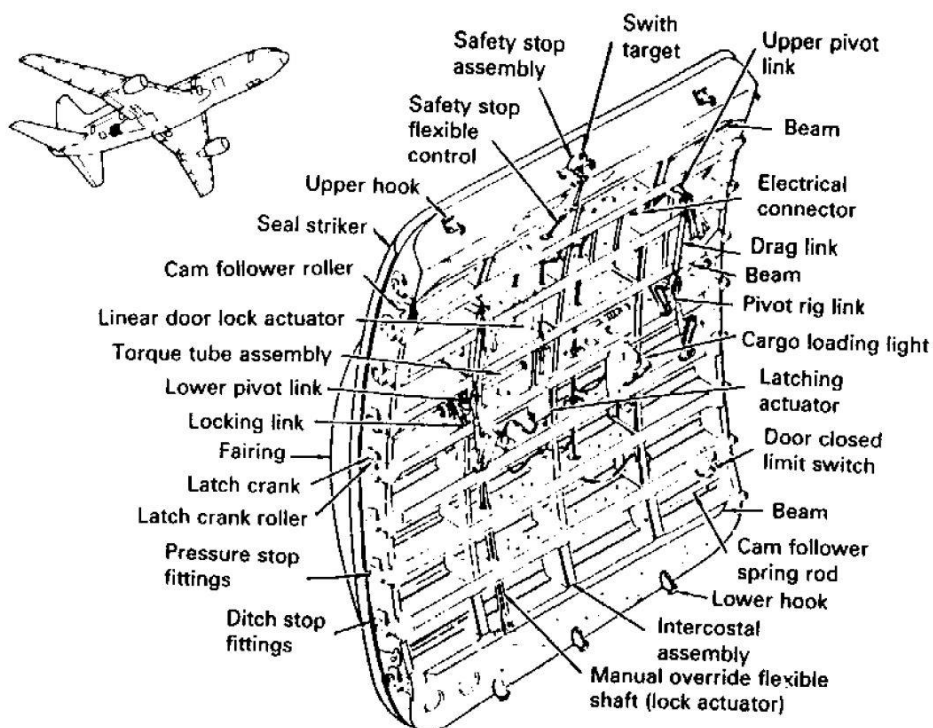
Obr. 3.6 Horizontálne otvárajúce sa dvere Airbus A320 [1]



Obr. 3.7 Tapered door opening [1]

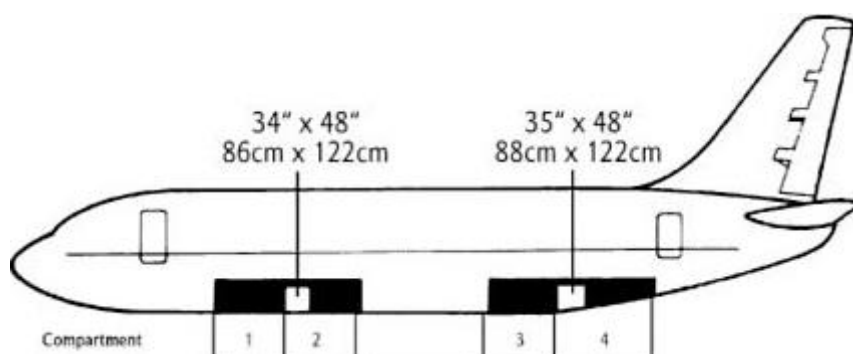
3.1.2 Nákladné dvere

Konštrukcia nákladných dverí dolnej paluby trupu lietadla, ako je znázornené na obrázku 3.8, je v zásade identická s konštrukciou dverí pre cestujúcich na hornej palube v prevedení „plug-type“ dverí. Je zrejmé, že funkcia týchto dverí je na nakladanie a vykladanie nákladu alebo kontajnerov, a preto je konštrukcia otváracieho mechanizmu a aj poloha otvorených dverí odlišná od dverí pre cestujúcich, ako bolo uvedené vyššie. [1]



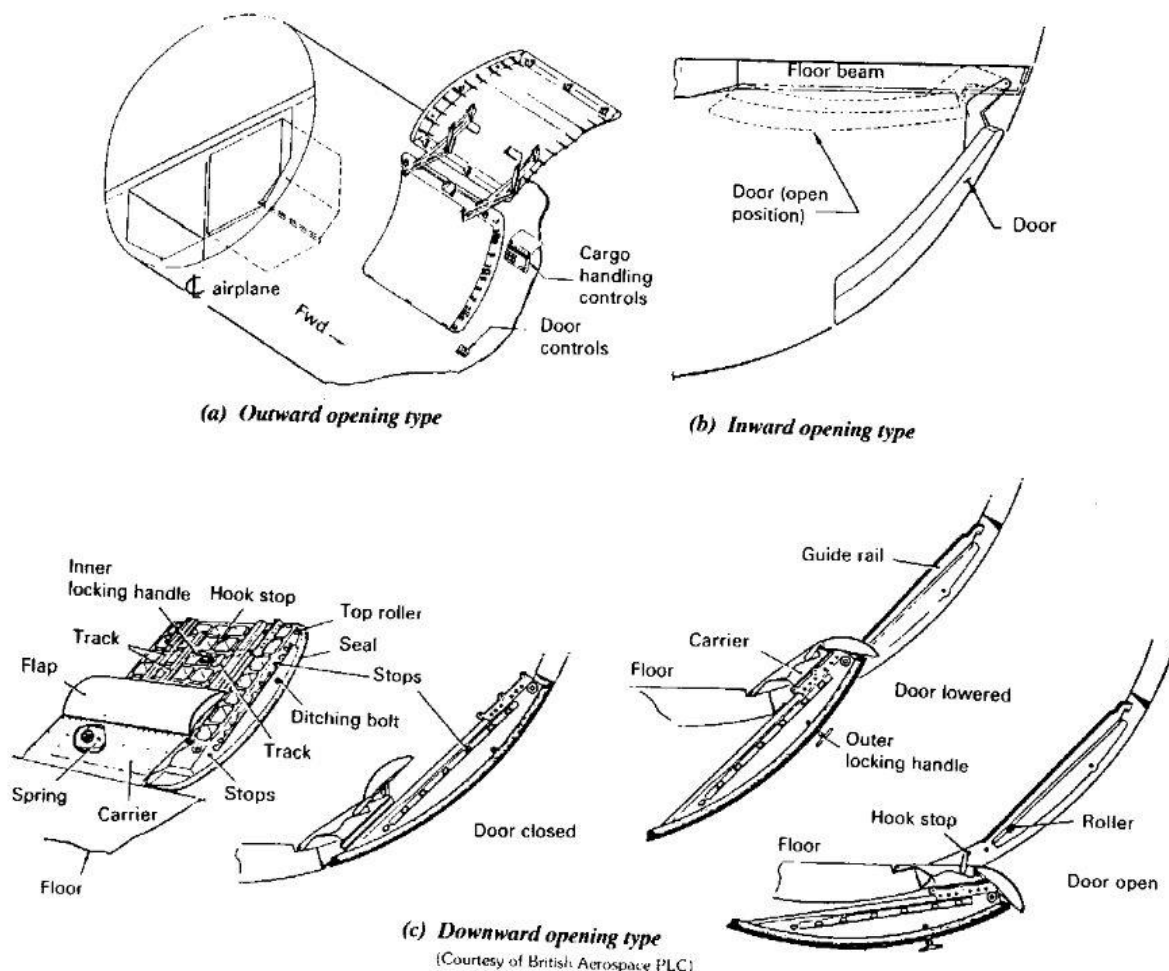
Obr. 3.8 Konštrukcia nákladných dverí [1]

Predné aj zadné nákladné dvere majú podobný vzhľad a aj fungovanie. Tieto dvere sú umiestnené na pravej spodnej strane trupu. Najčastejšie otváranie týchto dverí je smerom von z trupu. [8] Otvor pre nákladné dvere Boeing-u 737-300 je približne 86 centimetrov vysoký a 122 centimetrov široký. [7] Nákladné dvere sú elektricky ovládané. Elektrická energia pre ovládanie nákladných dverí je dodávaná z letiskovej plochy pomocou manipulačného letiskového vozidla, ktoré je napájané buď externým zdrojom alebo pomocou APU (Pomocná energetická jednotka). [8]



Obr. 3.9 Rozloženie nákladných dverí v Boeing-u 737-300 [7]

Nákladné dvere a ich konštrukcia je navrhnutá na prenášanie obvodového zaťaženia vznikajúce pretlakom v lietadle. Tieto sily sa prenášajú z pántov na hornej časti dverí, cez samotné dvere až do západiek umiestnených pozdĺž spodnej časti dverí. Západky pozostávajú zo západkových kolíkov pripevnených k spodnému prahu dverí a západiek vačky pripevnených k spodnej časti dverí. Na nákladných dverách sú umiestnené aj stredové západky pozdĺž prednej a zadnej strany dverí. Tieto stredové západky slúžia predovšetkým na pridriavanie hrán dverí zarovno s trupom lietadla. K dispozícii sú tiež zarážky dverí, ktoré obmedzujú zasunutie dverí do vnútra trupu lietadla. [8]



Obr. 3.10 Typy otvárania nákladných dverí: a) Typ otvárania smerom von, b) Typ otvárania dovnútra, c) Typ otvárania smerom nadol [1]

3.1.3 Núdzové východy

Informácie pre túto časť vychádzajú z Federálnych predpisov pre letectvo (FAR). Sekcia 25.803 FAR vyžaduje, aby každý priestor pre posádku a pasažierov mal núdzové prostriedky umožňujúce rýchlu evakuáciu pri núdzovom pristáti s podvozkom vysunutým i zasunutým. Tu musíme brať do úvahy vysoké riziko vzniku požiaru lietadla. Pre lietadlá s kapacitou viac ako 44 pasažierov sa musí preukázať, že pri maximálnej kapacite sedadiel, vrátane počtu členov posádky požadovaného prevádzkovými predpismi, pre ktoré sa vydáva osvedčenie, cestujúci a aj posádka lietadla musí byť evakuovaná z lietadla do 90 sekúnd. Na splnenie tejto požiadavky, sa musí uskutočniť reálna simulácia schopnosti evakuácie lietadla do tohto času. Na

pomoc pri plnení tejto základnej požiadavky, FAR časť 25.807 definuje typy prijateľných núdzových východov:

- **Typ I.** Východ na úrovni podlahy s pravouhlým otvorom nie menším ako 61 cm široký a 122 cm vysoký, s polomerom rohov nie väčším ako 20 cm.
- **Typ II.** Obdĺžnikový otvor nie menší ako 51 cm široký a 112 cm vysoký, s polomery rohov nie väčší ako 18 cm. Východy typu II musia byť na úrovni podlahy pokiaľ nie sú umiestnené nad krídlom, v takom prípade nesmú mať vo vnútri kabíny schod vysoký viac ako 25 cm a ani schod mimo kabíny vyšší viac ako 43 cm.
- **Typ III.** Obdĺžnikový otvor so šírkou najmenej 51 cm a výškou 91 cm, polomery rohov nie väčšie ako 18 cm a s prevýšením vo vnútri kabíny nie viac ako 51 cm. Ak je východ umiestnený nad krídlom, schod dole nesmie presiahnuť 69 cm.
- **Typ IV.** Obdĺžnikový otvor so šírkou najmenej 48 cm a výškou 66 cm, s polomerom rohov nie väčším ako 16 cm, umiestneným nad krídlom, so schodíkom vo vnútri lietadla nie viac ako 74 cm a schodíkom mimo kabíny lietadla nie väčší ako 91 cm.
- **Typ A.** Ide o východ na úrovni podlahy s pravouhlým otvorom nie menším ako 107 cm široké a 183 cm vysoké, s polomerami rohov nie väčšími ako 18 cm.
- **Typ B.** Ide o východ na úrovni podlahy s pravouhlým otvorom nie menší než 81 cm široký a 183 cm vysoký, s polomerom rohov nie väčším ako 15 cm.
- **Typ C.** Ide o východ na úrovni podlahy s pravouhlým otvorom nie menším ako 76 cm široký a 122 cm vysoký, s polomerami rohov nie väčšími ako 25 cm. [6]

Tab. 3.1 Maximálny počet sedadiel cestujúcich pre každý typ východu [6]

TYP VÝCHODU	POČET SEDADIEL
A	110
B	75
C	55
I	45
II	40
III	35
IV	9

Každý požadovaný núdzový východ pre cestujúcich musí byť prístupný cestujúcim a nachádza sa tam, kde bude poskytovať najúčinnejší význam na evakuáciu. V prípade lietadla, ktoré vyžaduje viac než jeden núdzový východ pre pasažierov na každej strane trupu, nesmie byť žiadny núdzový východ pre cestujúcich vzdialený viac ako 18 metrov ku ktorémukoľvek susednému núdzovému východu pre cestujúcich na tej istej strane a tej istej palube trupu, meraný rovnobežne s pozdĺžnou osou lietadla medzi najbližšími hranami núdzových východov. Maximálny povolený počet sedadiel pre cestujúcich závisí od typu a počtu východov nainštalovaných na každej strane trupu. Ak konfigurácia sedadiel pre cestujúcich obsahuje viac ako 110 miest na sedenie, tak v tomto prípade musia byť aspoň dva núdzové východy typu I alebo väčšie na každej strane trupu. Kombinovaný maximálny počet sedadiel pre cestujúcich povolený pre všetky východy typu III je 70 a kombinovaný maximálny počet sedadiel pre cestujúcich povolený pre dva východy typu III na každej strane

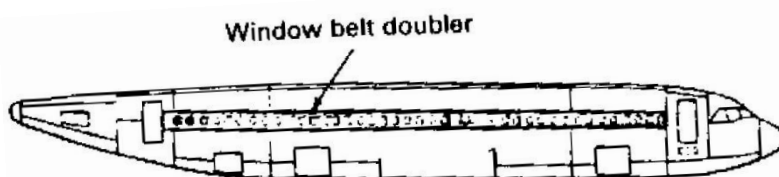
trupu, ktoré sú oddelené menej ako tromi radmi sedadiel pre cestujúcich je 65. Ak je nainštalovaný výstup typu A, typu B alebo typu C, musia existovať aspoň dva východy typu C alebo väčšie na každej strane trupu. [6]

3.2 Okná

Aj keď okná kabíny pre cestujúcich nemajú takú odolnosť voči štrukturálnemu zaťaženiu, či rovnakú priehľadnosť ako okná kokpitu, musia zachovať rovnaké tlakové pomery v kabíne a musia spĺňať bezpečnostné požiadavky. Väčšina okien pre cestujúcich je vyrobená zo samostatných panelov s priestorom vyplneným vzduchom. [9]

Konfiguráciu okien ovplyvňujú tri faktory: veľkosť, množstvo a tvar. Z hľadiska štruktúry by mali okná byť malé, ich počet tiež malý a okrúhleho tvaru. Z pohľadu cestujúcich by mali byť veľké, ich počet tiež veľký a najlepšie štvorcové tvaru. [1]

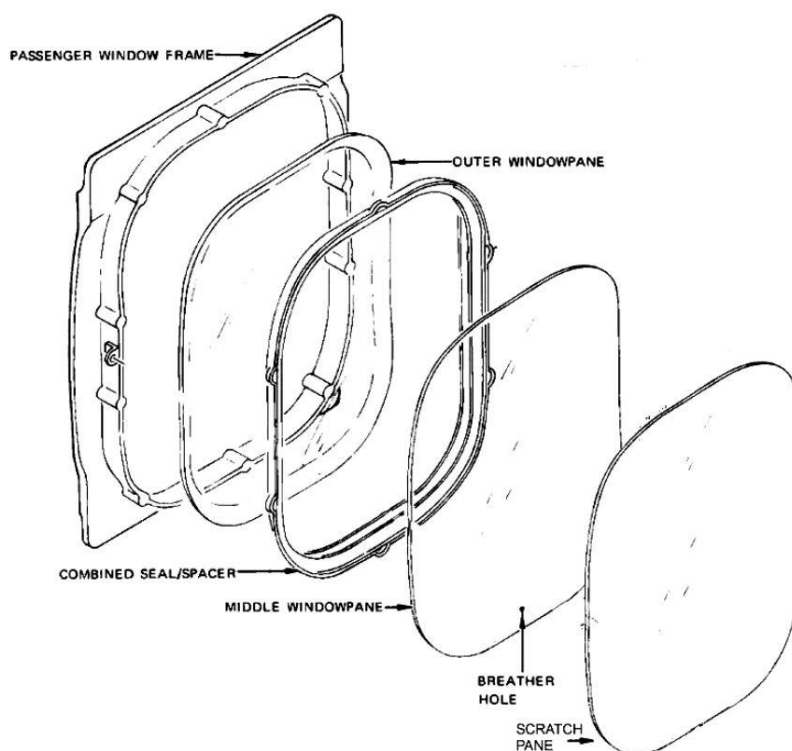
Pokiaľ máme stanovenú veľkosť a rozostupy, predstavuje návrh okenných výrezov pre konštruktérov veľmi zaujímavé problémy. Výrezy okien spadajú do oblasti najväčšieho strihu poťahu od ohybového momentu trupu. Pretože vertikálny ohyb nastáva počas letu, výstuž vo výreze okna musí byť navrhnutá pre kombinované zaťaženie od ohybu a taktiež tlaku zvnútra pretlakovej kabíny. Keďže v kabíne nastáva počas letu zmena tlaku, oblasť okien je zaťažovaná cyklicky a hovoríme o tzv. cyklickom tlakovom zaťažení. Preto sa musíme uistiť, že oblasť spĺňa bezpečnosť medzného stavu únavy. Niektoré lietadlá ako napríklad transportéry DC-9 a DC-10 riešia tento problém jednoduchým spôsobom, ktorým je použitie zdvojeného okenného pásu poťahu trupu lietadla, ktorý môže byť pridaný na vonkajšiu stranu daného trupu lietadla. [1]



Obr. 3.11 Zdvojený okenný pás [1]

Obrázok 3.12 znázorňuje typickú konštrukciu kompletnej inštalácie okna pre pasažiera. Skladá sa z vonkajšieho panelu - primárny panel nesúci tlak. Stredného panelu, ktorý prenesie navrhované tlakové zaťaženie v prípade poškodenia vonkajšieho panelu. Okrem malého vetracieho otvoru je stredná tabuľa utesnená proti vnútornej prírubie osadenia. Zvyšok inštalácie tvorí kryt proti prachu a obloženie vnútornej strany. Tieto zvyšné časti sú neštrukturálne dekoratívne prvky interiéru kabíny lietadla. Bezpečnosť okien pre pasažierov bola dosiahnutá použitím viacnásobnej konštrukcie usporiadania okna. Vonkajší panel nesie celé tlakové zaťaženie so súčiniteľom bezpečnosti okolo hodnoty 8. Ak by však došlo k poruche na vonkajšom paneli, vnútorný panel je schopný prevziať plné zaťaženie, no je konštruovaný s nižším návrhovým súčiniteľom bezpečnosti. Dodatočný bezpečnostný prvok sa nachádza vo väčšine okien, kde k ostatným dvom bol pridaný tretí panel okna. Tento panel je primárne použitý z akustických dôvodov, avšak má takú veľkosť a je namontovaný takým spôsobom, že v nepravdepodobnom prípade

zlyhania oboch vonkajších hlavných okenných panelov v dôsledku vážnej nehody je navrhnutý k plnému prenášaní tlaku v kabíne. [1]



Obr. 3.12 Schéma okna v kabíne lietadla [10]

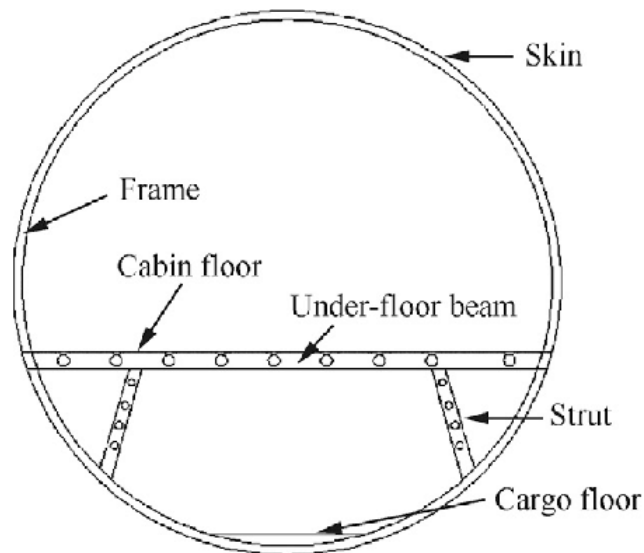
Zaujímavosťou je, že okná kabíny lietadiel nie sú zo skla, ale z takzvaného natiahnutého akrylu. Ťahaný akryl sa vyrába ťahovaním liateho akrylu. Poskytuje lepšiu odolnosť proti popraskaniu, znižuje šírenie trhliny a má zlepšenú odolnosť proti nárazom. Ďalšou výhodou akrylu je aj jeho nízka hmotnosť. Hrúbka vnútorného a vonkajšieho panelu okna je špecifická pre každý typ lietadla. Vnútorný panel je všeobecne tenší s hrúbkou približne 5 mm a je prítomný len ako poistka proti poruche, ak by zlyhal vonkajší okenný panel. Vonkajší panel je o niečo hrubší a to s hrúbkou približne 10 mm a znáša tlakové zaťaženie počas celej životnosti okna. Zväčšená hrúbka má umožniť spojenie so štruktúrou trupu lietadla pri zachovaní potrebnej pevnosti. Vzduchová medzera je približne 6 - 7 mm veľká a tiež sa mení pre každé lietadlo. [10]

Keď lietadlo naberá výšku, tlak pôsobiaci na vonkajšiu časť lietadla klesá. Vzduch je oveľa redší, čím vyššie lietadlo stúpa. Kabíny lietadiel sú pretlakové a počas letu sa udržuje vo vnútri tlak približne ako je vo výške 1800 m n.m. tj. približne 80 kPa pre zabezpečenie pohodlia a samozrejme prežitia cestujúcich a posádky. Vo vnútri lietadla je tak tlak väčší, ako naň pôsobí tlak zvonku pri letovej hladine cca 11 km nad morom. Tento tlak pôsobí na trup a okná kabíny. Malá dierka na strednom paneli umožňuje, aby časť vzduchu z kabíny unikla do priestoru medzi vnútorným a vonkajším panelom a vyrovnala rozdiel tlaku. [10] Prípadné opravy vykonávame z vnútornej strany kabíny jednoduchým vytiahnutím z držiakov. [1]

3.3 Podlaha

Podlahové panely sa často prehladajú ako menej potrebná súčasť lietadla. Avšak zohrávajú dôležitú úlohu nielen pri poskytovaní rovného povrchu na chôdzu, ale sú dôležitou súčasťou konštrukcie lietadla. Majú úlohu pri zabezpečení celkovej pevnosti, tuhosti a bezpečnosti lietadla počas bežného letu, núdzových pristátí i náhlych nečakaných dekompresíí. Moderné panely môžu tiež obsahovať ďalšie funkcie, ktoré poskytujú výhody pri návrhu kabíny. [11]

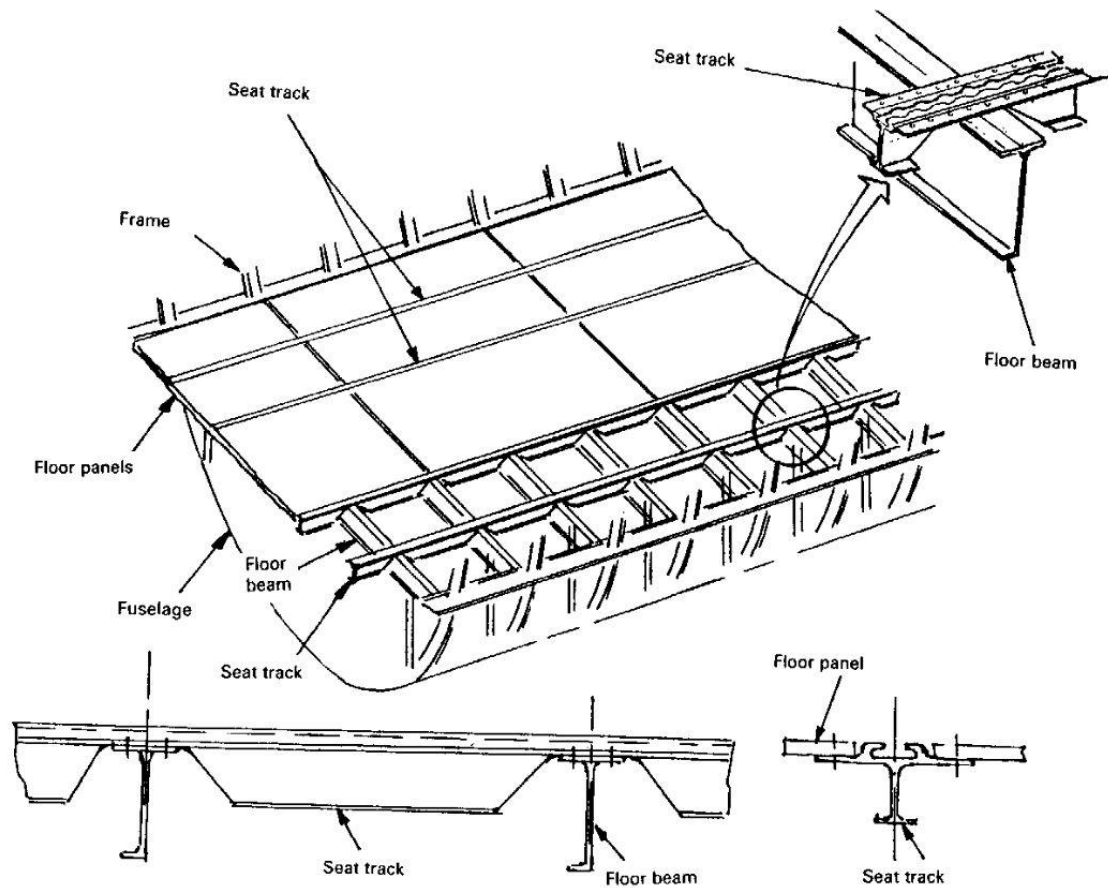
Podlahové panely, niekedy označované ako podlahové dosky, sú namontované na podlahové nosníky lietadla, aby poskytli plochu pre pasažierov a posádku, po ktorej sa môžu pohybovať, a poskytujú upevňovacie body pre zariadenia a komponenty nachádzajúce sa v kabíne pre cestujúcich alebo aj v nákladnom priestore. Dosky musia byť dostatočne pevné a tuhé, aby fungovali ako nosná konštrukcia, odolné počas neustáleho používania, dostatočne ľahké a v niektorých prípadoch všestranné, aby umožnili rôzne konfigurácie kabíny. [11]



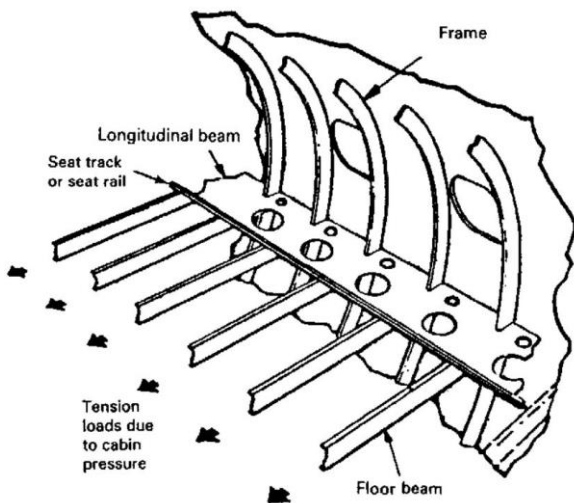
Obr. 3.13 Podlahové nosníky lietadla [12]

Aj keď sú podlahové panely extrémne ľahké, považujú sa za konštrukčnú časť lietadla a vyžaduje sa, aby odolali špecifickej úrovni šmykovej sily, aby sa v prípade havárie nerozломili a nespôsobili prípadné zranenia. Pri havárii sa zaťaženie sedadiel prenáša na koľajnice sedadiel, a tým je vyvolaný ohyb priečných nosníkov a šmyk v podlahových paneloch. Pevnosť v šmyku spojok, ktoré spájajú panely s konštrukciou trupu lietadla, je rozhodujúca pre reakciu na zaťaženie sedadiel. To kladie zásadný význam na spoľahlivosť panela. Často prehladanou požiadavkou podlahových panelov je výdrž zaťaženia spôsobeného prípadmi náhle a nečakanej dekompresie. V nepravdepodobnom prípade dekompresie kabíny, priestor pod podlahami je stále pod tlakom. To spôsobuje zaťaženie podlahových panelov smerom nahor, ktorému musia panely odolávať, kým sa tlak nad a pod podlahovými panelmi vyrovná. Ak by sa podlahové panely pri tomto zaťažení zlomili, mohli by spôsobiť zranenie pasažierov a diery v podlahe by spôsobila problémy pri evakuácii po pristátí. Toto zaťaženie spôsobené dekompresiou je v opačnom smere, ako zvyčajný smer zaťaženia podlahových panelov, takže panely a spojky, ktoré

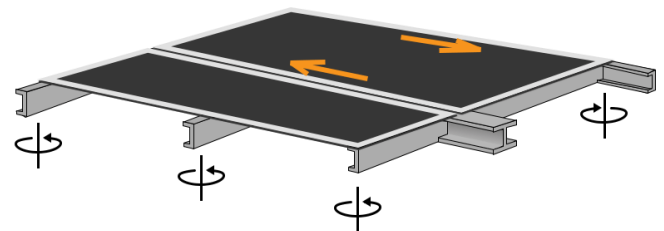
pripevňujú panel ku konštrukcii lietadla, musia byť správne navrhnuté tak, aby vydržali zaťaženie v oboch smeroch či už nadol alebo aj nahor. [11]



Obr. 3.14 Uchytenie podlahy [1]



Obr. 3.15 Zaťaženie podlahových nosníkov ťahom [1]



Obr. 3.16 Zaťaženie podlahových panelov šmykom [11]

3.4 Nákladný priestor

Nákladný priestor lietadla sa nachádza v centrálnej časti lietadla hneď pod podlahou pre cestujúcich. Slúži na prepravu rozličného nákladu a aj preto je táto časť trupu lietadla pretlaková rovnako ako kabína pre cestujúcich.

Z dôvodu prepravy rozličného nákladu musí byť tento priestor správne navrhnutý tak, aby bola zaistená bezpečnosť celého lietadla. Moderné lietadlá a ich nákladné priestory sú skonštruované a pripravené zvládnuť prípadne aj požiar prepravovaného nákladu v nákladnom priestore, a tým ochrániť cestujúcich a posádku pred nebezpečím. Po niekoľkých tragických udalostiach spojených s požiarom v nákladnom priestore dopravných lietadiel sa zaviedlo niekoľko opatrení. [43]

- Vzduchotesné a ohňovzdorné nákladné priestory
- Systémy na detekciu požiaru nákladu
- Protipožiarne systémy

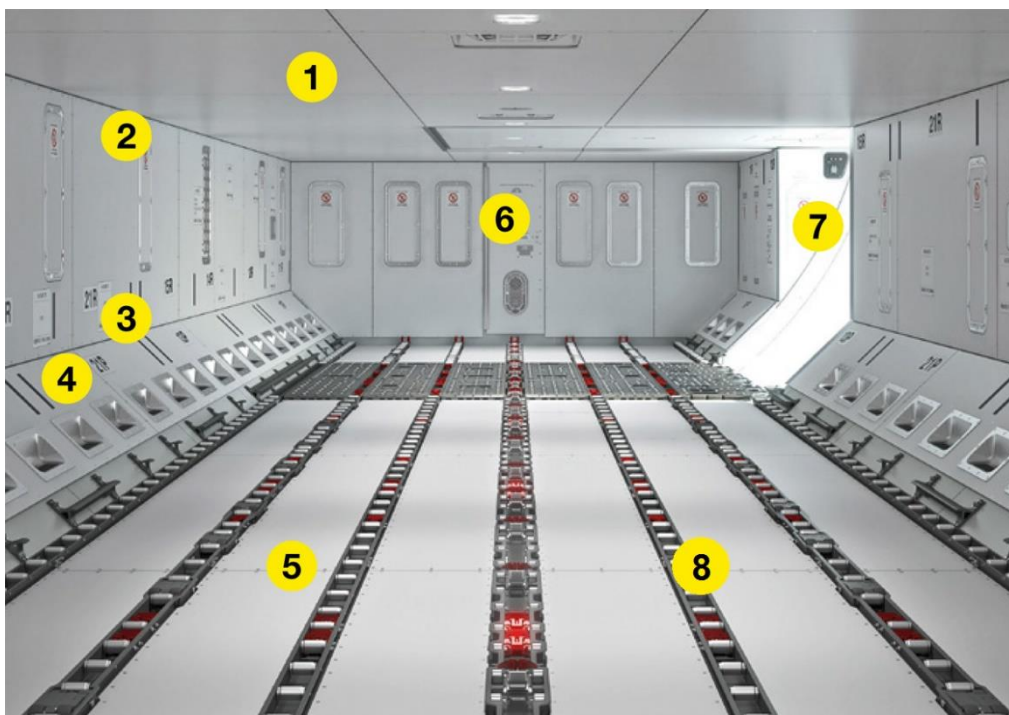
Všetky tieto tri funkcie sú nevyhnutné a musia spolupracovať, aby sa zabezpečila bezpečnosť leteckej dopravy. [43]

Objem nákladných priestorov veľkých dopravných lietadiel sa líši v závislosti od typu lietadla a priestoru, ale môže sa pohybovať napríklad od 7 m³ pri lietadle Airbus A318 až po 143 m³ pri lietadle Airbus A340-600 jednotlivých nákladných priestorov. Na uzatvorenie takto objemných priestorov sa vyžaduje použitie mnohých komponentov. [43]

Nákladné priestory sú skonštruované z veľkého množstva kompozitných panelov pripnutých k primárnej a sekundárnej konštrukcii lietadla a zo samotných nákladných dverí. Používajú sa rôzne typy panelov, vrátane stropných, bočných, podlahových. Počet panelov v jednotlivých nákladných priestoroch lietadiel sa odlišujú, no napríklad Airbus A320 obsahuje 42 takýchto panelov a taký Airbus A380 až 188 panelov. Spolu so svojimi upevňovacími prvkami, sekundárnou konštrukciou a nákladnými dverami tvoria tieto panely výstelku obloženia nákladného priestoru, vid' obrázok 3.17. [43]

Vzduchotesné tesnenie medzi panelmi a konštrukciou je dosiahnuté použitím samolepiacich elastomérových penových pásov aplikovaných na zadnú stranu panelov. Tesnenie sa vytvorí, keď sú tieto pásy stlačené počas uťahovania upevňovacích prvkov. [43]

Väčšina nákladu prepraveného v dopravnom lietadle je uložená v nákladných kontajneroch. Pre uľahčenie manipulácie pri nakladaní a vykladaní jednotlivých kontajnerov alebo samotného nákladu sú na podlahe nákladného priestoru nainštalované koľajnice. Po stranách ale aj v podlahe sú rozmiestnené úchytné body na zafixovanie nákladu proti pohybu počas letu a vzniku nebezpečnej situácie pre zmenu rozloženia hmotnosti v nákladnom priestore. Jednotlivé nákladné kontajnery sú štandardizované a rozdelené podľa veľkostí vid' tab. 3.1 a obrázok 3.18. [6]

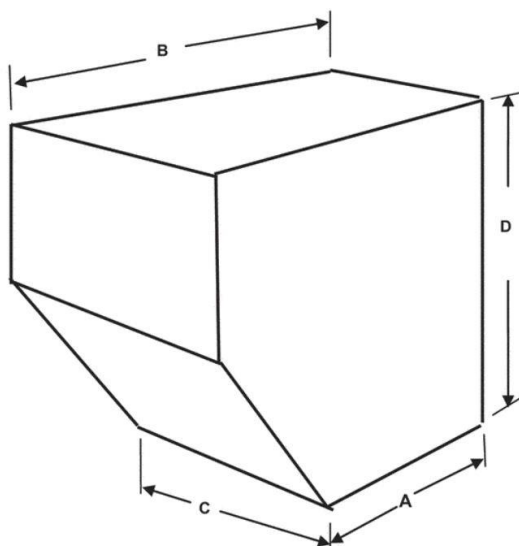


Obr. 3.17 Nákladný priestor lietadla [43]

1- Stropný panel, 2- Dekompresný panel, 3- Vertikálny panel, 4- Skopený panel, 5- podlahový panel, 6- priečka, 7- Nákladné dvere, 8- Koľajnice

Tab. 3.2 Rozmery bežne používaných nákladných kontajnerov v lietadlách [6]

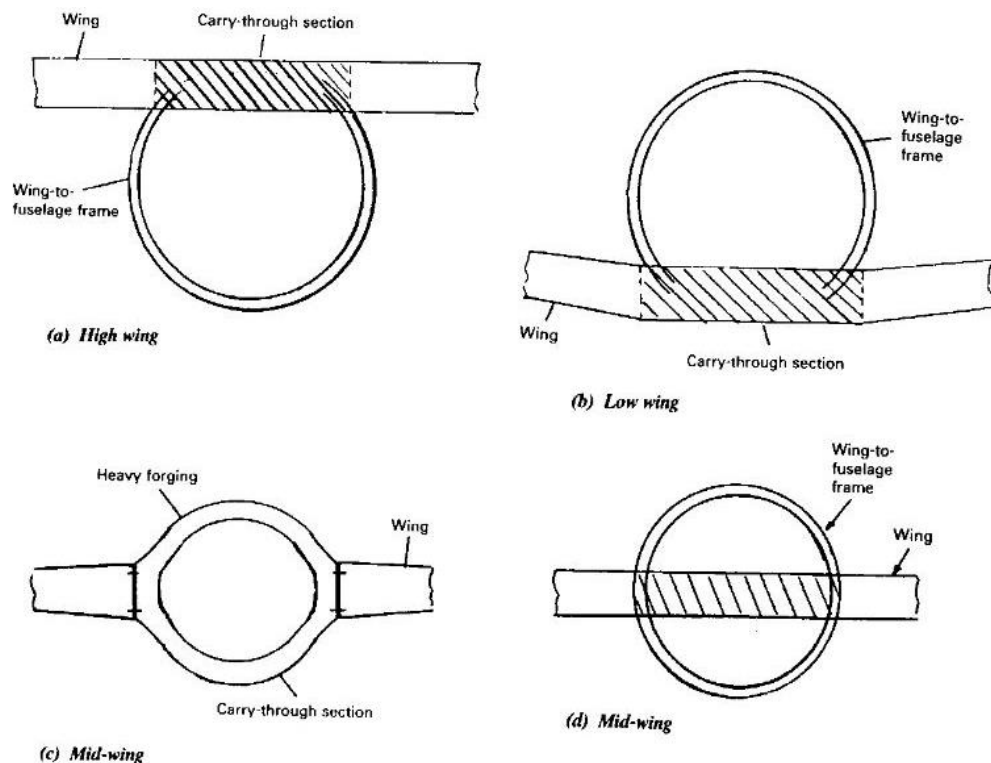
Typ kontajneru	A [m]	B [m]	C [m]	D [m]	Objem [m ³]
LD-1	1,56	2,34	1,53	1,63	4,93
LD-2	1,19	1,56	1,53	1,63	3,05
LD-3	1,56	2,01	1,53	1,63	4,04
LD-6	3,18	4,06	1,53	1,63	8,03
LD-8	2,44	3,18	1,53	1,63	6,17



Obr. 3.18 Nákladný kontajner pre lietadlá [6]

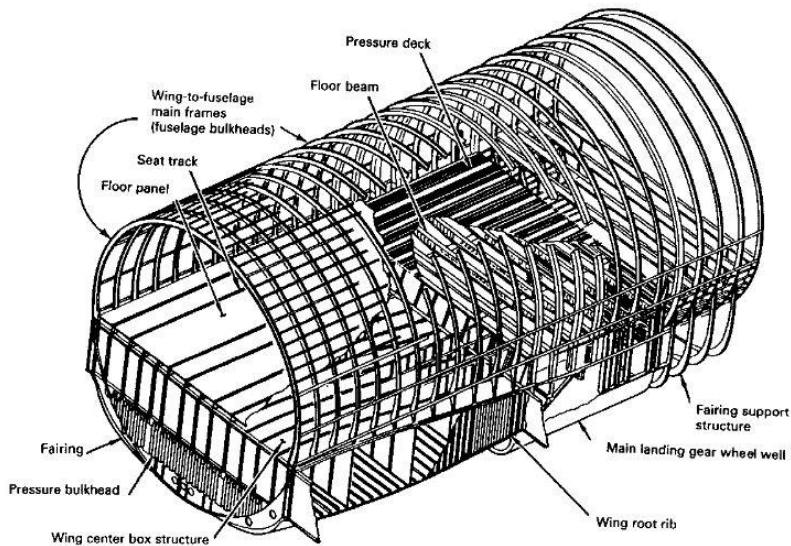
3.5 Napojenie krídiel k trupu lietadla

Spojenie krídla s trupom predstavuje niektoré veľmi zaujímavé konštrukčné problémy. Ak ide o upevnenie krídla na spodnej alebo hornej časti trupu, rozlišujeme dolnoplošné usporiadanie a hornoplošné usporiadanie krídel, vid'. obrázok 3.19. V týchto prípadoch celá konštrukcia krídla môže pokračovať skrz celý trup lietadla. Pri type krídel umiestnených v strede trupu alebo mierne posunutom nadol (väčšinou pre vojenské stíhacie lietadlá), označujeme takýto typ krídel ako stredoplošné usporiadanie krídel. Avšak pri tomto type môžu nastať obmedzenia, ktoré zabraňujú prechodu celého krídla cez trup. Kryty krídla musia tiež byť ukončené na strane trupu. Pri stredoplošnom type krídel však konštrukcia torznej skine neumožňuje prenášať zaťaženia cez trup, preto sú na prenášanie zaťaženia z krídla navrhnuté ťažké kovania. [1]



Obr. 3.19 Vertikálne uloženie krídel voči trupu lietadla [1]

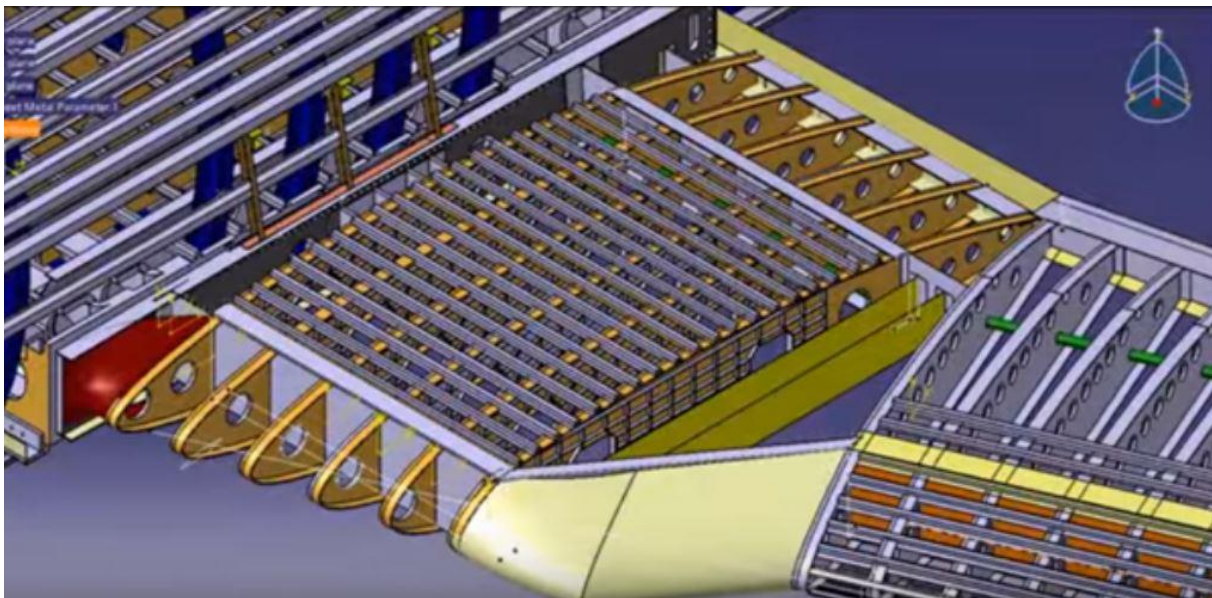
Konštrukcie trupu sú vystavené veľkým koncentrovaným silám v centrálnej časti trupu, kde sa stretávajú časti krídiel, hlavného podvozku a samotného trupu. Zaťaženia pôsobiace v týchto sústredených bodoch musia byť rozložené do poľahu lietadla. Zaťaženia spôsobené od krídla a hlavného podvozku vytvárajú viacnásobné zaťaženia v rôznych smeroch cez strednú časť krídla a trupu. Problémy s hmotnosťou sa týkajú aj samotných častí lietadla ktoré neobsahujú žiaden výrez v trupe. Táto časť sa týka pozdĺžnikov, cez ktoré krídla a podvozok prenášajú zaťaženie a rozkladajú ho následne do samotného trupu a poľahu lietadla. Preto musia byť skonštruované tak, aby dostatočne prenášali zaťaženie z týchto plôch lietadla ale zároveň nemali vysokú hmotnosť. [1]



Obr. 3.20 Konštrukcia časti krídlo – trup [1]

3.5.1 Uchytenie krídla

Krídla majú obrovskú hmotnosť a veľkosť, preto je vyžadované, aby boli správne pripevnené k trupu lietadla. [13] Obecne je veľa spôsobov ako pripevniť krídlo k trupu, avšak pri veľkých dopravných lietadlách sa ustálilo využitie pozdĺžnikov a nitov na upevnenie krídla k trupu. Torzná skriňa pokračuje skrz strednú časť trupu lietadla až do krídel. Pozdĺžniky sú následne prinitované veľkým počtom nitov k trupu lietadla. Na pomoc pri osádzaní sa využívajú aj oká s čapmi.



Obr. 3.21 Uchytenie krídla k trupu lietadla [27]

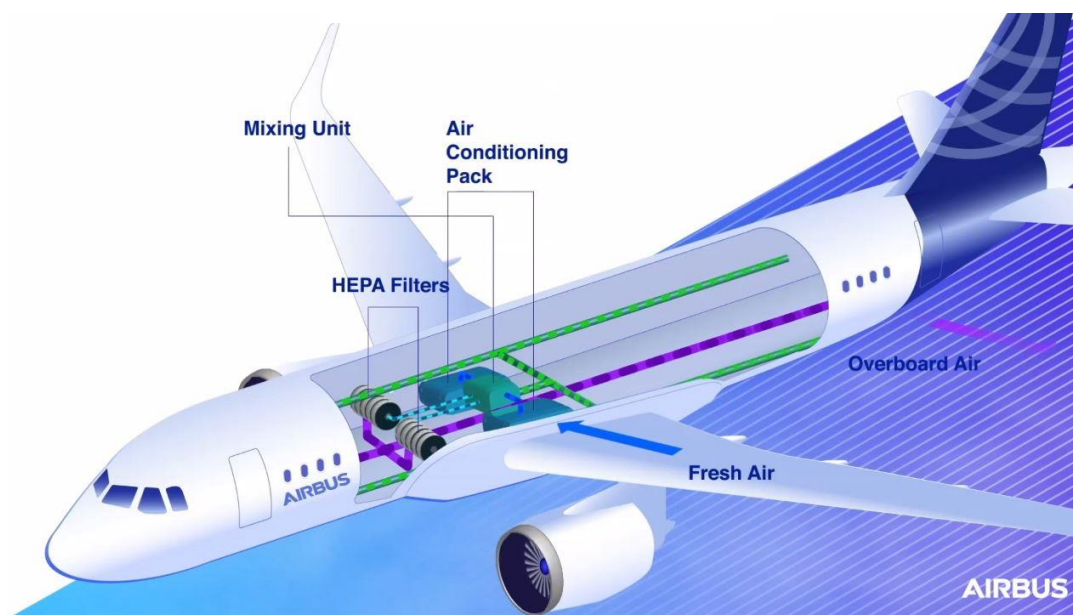
3.6 Vybavenosť kabíny

Kabína moderného veľkého dopravného lietadla je vybavená veľkým množstvom systémov a možností, či už pre cestujúcich alebo posádku. Jedným z najdôležitejších je systém na výmenu a cirkuláciu vzduchu v kabíne lietadla.

Počas letu sa vzduch neustále vymieňa, kde nový, čerstvý vzduch vstupuje do kabíny z okolia lietadla a použitý vzduch z nej odchádza cez tlakové výstupné ventily, takže vzduch sa po čase úplne vymení. Vzduch sa v kabíne lietadla vymieňa približne každé 2-3 minúty. Čerstvý vzduch z okolia lietadla je prirodzene bez akýchkoľvek patogénov vo vysokých nadmorských výškach, kde dopravné lietadla lietajú. Prvá časť vzduchu je úplne vymenená za nový a čerstvý vzduch, zatiaľ čo zvyšná časť je recyklovaná. Recyklovaná časť vzduchu najskôr prechádza cez HEPA filtre („High-Efficiency Particulate Air“) a následne sa vypúšťa do zmiešavacej jednotky. Filtre sú zvyčajne umiestnené v strede torznej skrine v spodnej časti kabíny. Po zmiešaní v zmiešavacej jednotke je nový vzduch vypustený späť do priestoru cestujúcich a posádky. [37]



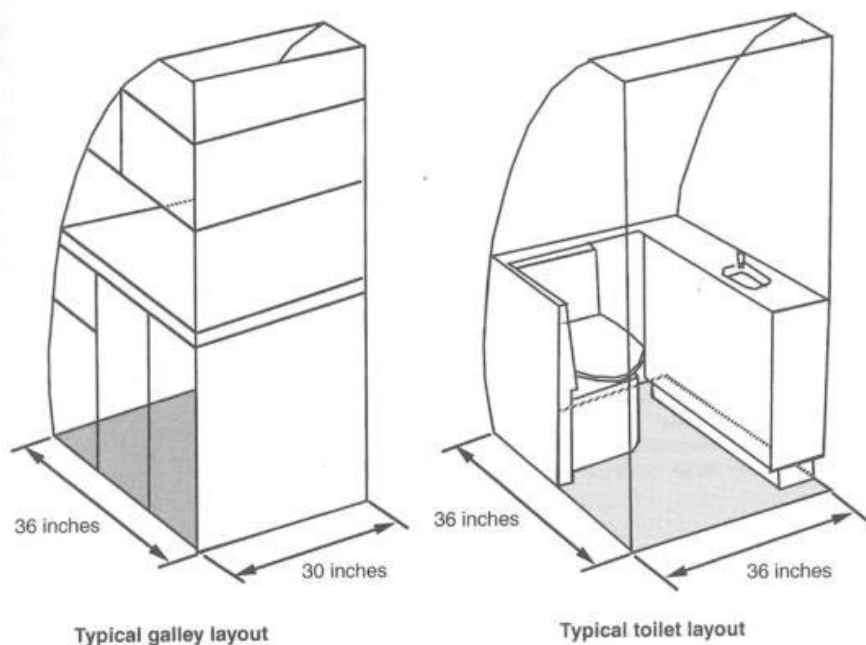
Obr. 3.22 Výmena vzduchu v kabíne [37]



Obr. 3.23 Systém na výmenu vzduchu v kabíne [37]

Pre komfort cestujúcich počas dlhého ale aj krátkeho letu sa na palube musí nachádzať toaleta. Počet a rozmery toaliet v lietadle sa u rôznych výrobcov a najmä lietadiel líši. Veľkosť sa môže líšiť aj v závislosti na triede komfortu. Pri veľkých dopravných lietadlách typu Airbus A380, Boeing 777 a podobných sa môžeme stretnúť aj s celou kúpeľňou so sprchou pre cestujúcich v prvej triede. Pri toaletách u rôznych leteckých spoločností zvyčajne platí pravidlo 1 toaleta na 30 pasažierov. Samotné toalety využívajú iba malé množstvo na splachovanie a to približne 1,9 litra na jedno spláchnutie (bežný záchod v domácnosti využije približne 6 litrov vody na jedno spláchnutie). Toalety v lietadlách využívajú menší priemer odpadového potrubia a môže byť uložené takmer v ľubovoľnej polohe vďaka využitiu vákuového systému splachovania. Na obrázku 3.24 je schéma štandardnej toalety v lietadle. Približné rozmery toalety sú 91,44 x 91,44 centimetra. [14]

Tak ako toalety, ďalšou potrebnou súčasťou vybavenia kabíny je kuchynka. Kuchynka je priestor pre posádku, kde sa skladujú a pripravujú nápoje alebo pokrmy pre cestujúcich. Samozrejme z nutnosti šetrenia priestoru a hmotnosti, nie je možné aby bolo jedlo pripravované priamo na palube lietadla, ale všetko jedlo je pripravované na zemi a následne prepravené vo vozíkoch na palubu lietadla v baleniach na jednotlivé porcie. V kuchynke sa nachádza vybavenie na ohrev pokrmov, chladiace zariadenia a kávovary. Obrázok 3.24 taktiež ukazuje rozmery kuchynky. Približné rozmery sú 76,20 x 91,44 centimetra. [14]



Obr. 3.24 Typické rozmery kuchynky a toalety v lietadle [14]

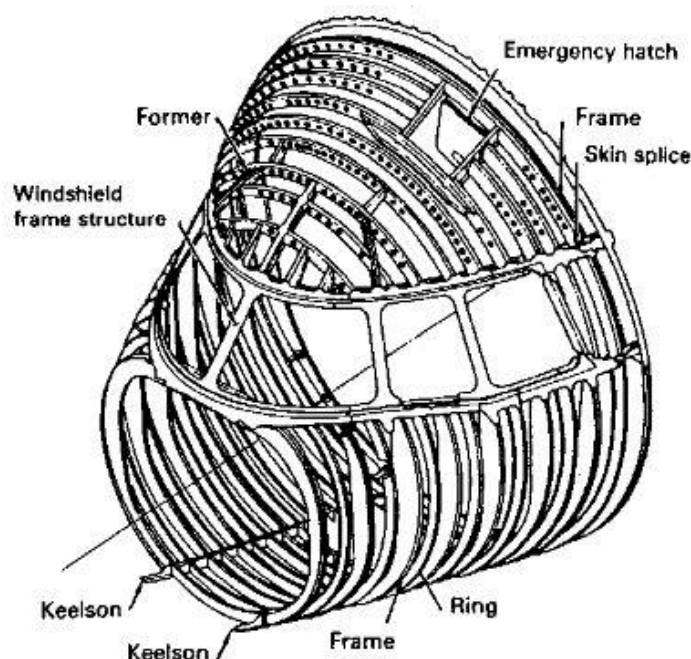
Ako som už spomínal, kabína lietadla môže byť rozdelená do tried komfortu. Bežne ich rozdeľujeme na ekonomickú, biznis a prvú triedu. Najväčšie rozdiely sú vo veľkosti, pohodlí a vybavenosti sedadiel alebo aj v infosystéme a priestore pre nohy. Sedadlá musia byť dostatočne pevné ale ľahké aby v prípade havárie ostali na mieste a ochránili cestujúcich.

4 Kokpit

Kokpit je časť lietadla, ktorá ponúka pilotom možnosť ovládať lietadlo. V kokpíte sa nachádza množstvo prístrojov potrebných na ovládanie a bezpečný let. Samozrejme na správne ovládanie piloti potrebujú kvalitný výhľad pred lietadlo a aj do strán, ktoré zabezpečuje už spomínané čelné sklo. Predná časť trupu lietadla ďalej obsahuje nielen prístroje potrebné na ovládanie lietadla, ale aj komunikáciu, radary v prednom kuželi oddelené pomocou pretlakovej prepážky alebo aj uloženie predného podvozku. Potreba správneho rozloženia a uloženia všetkých potrebných komponentov zaujímala inžinierov už od vzniku prvého lietadla. Moderné veľké dopravné lietadlá využívajú celouzatvorenú konštrukciu kokpitu, ktorá je prispôbená potrebám pilota a co-pilota.

4.1 Tvar prednej časti trupu lietadla

Správnou konštrukciou prednej časti trupu lietadla môžeme doceliť požadované obtekanie vzduchu okolo lietadla. Pri navrhovaní optimálneho tvaru prednej časti trupu lietadla bude dlhšia predná časť s hladším prechodom poskytovať nižší odpor vzduchu, ktorý zaručí lepší tok vzduchu okolo tejto časti lietadla. Pri riešení optimálneho tvaru prednej časti trupu lietadla musíme tiež zväžiť samotnú hmotnosť konštrukcie, ktorá zohráva veľkú úlohu pri konštruovaní samotného lietadla. Je tiež dôležité, aby tvar a konštrukcia poskytla dostatok priestoru na umiestnenie všetkého vybavenia či už v samotnom kokpíte alebo radarov a senzorov v nose lietadla. [15]



Obr. 4.1 Konštrukcia prednej časti lietadla [1]

Samotná konštrukcia prednej časti trupu lietadla pozostáva z prepážok, rámu kabíny, čelného okna, priestoru pre predný podvozok, predného kužela a pilotnej kabíny.

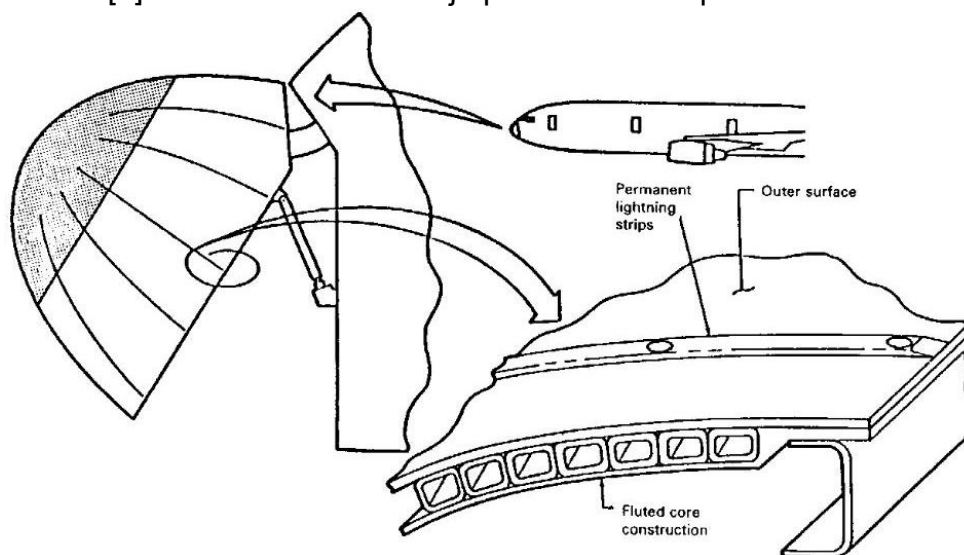
Predný kužel, ktorý sa nachádza v najprednejšom bode lietadla, musí byť vhodne aerodynamicky navrhnutý, aby znížil odpor vzduchu. Vo väčšine dopravných lietadiel

sa v prednom kuželi nachádza radar snímajúci počasie, systém na varovanie pilotov pred hrozbou stretu so zemou (The ground proximity warning system „GPWS“) a iné systémy, ktoré možno použiť na prenos komunikačných signálov. Tým, že chráni citlivé prístroje a zároveň umožňujú prechod elektronických signálov, musia byť predné kužele vyrobené zo špecifických materiálov. Tieto materiály často zahŕňajú sklenené vlákna, kremeň, voštinové a penové jadrá, ako aj rôzne chemické živice. [17] Predný kužeľ je pripevnený k pretlakovej prepážke prednej časti trupu lietadla.

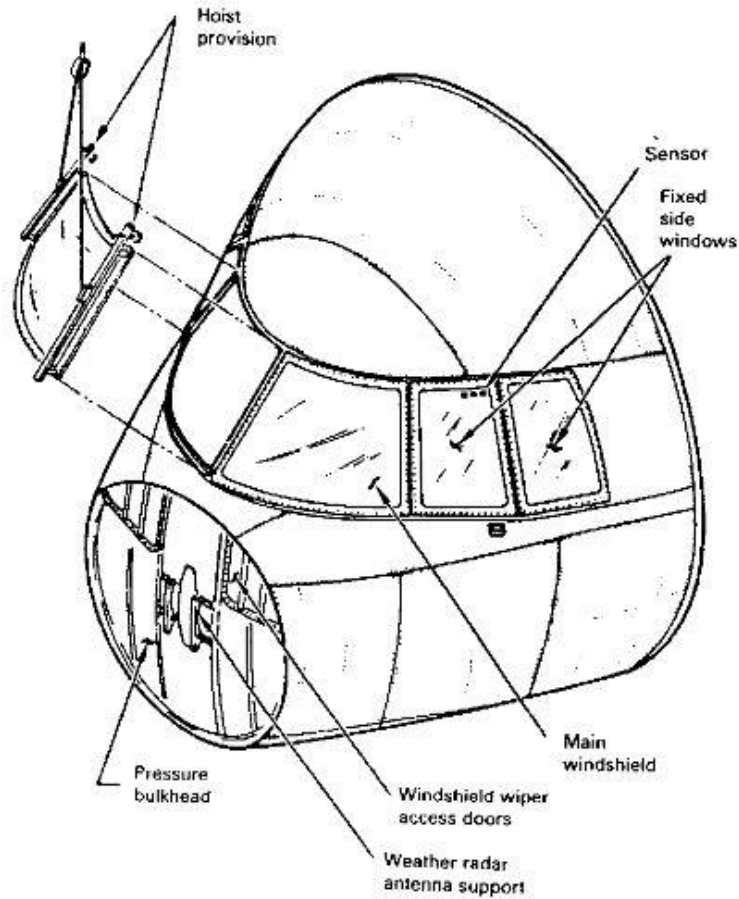


Obr. 4.2 Otvorený predný kužeľ lietadla Airbus A330-300 [28]

Hneď za predným kuželom prezývaný aj ako „Radome“ spojením dvoch slov radar a kupola (Radar + Dome), sa nachádza prvá pretlaková prepážka. Táto prepážka sa nachádza pri všetkých lietadlách, ktoré majú pretlakovú kabínu a uzatvára celú konštrukciu trupu lietadla. [28] Je to vertikálny panel, ktorý sa skladá z niekoľkých vrstiev potľahu. [1] Obrázok 4.4 zobrazuje prednú časť trupu lietadla.

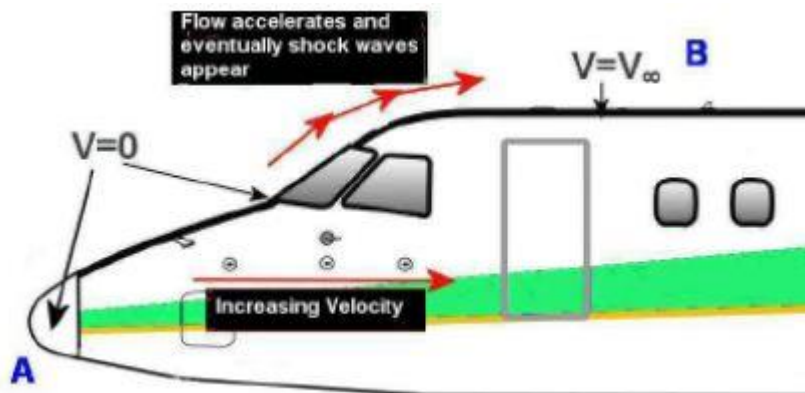


Obr. 4.3 Radome [1]



Obr. 4.4 Predná časť trupu lietadla [1]

Predná časť trupu lietadla sa ako prvá stretáva a rozráža vzduch pred sebou. Preto samotný tvar trupu musí spĺňať isté požiadavky na tok prúdu vzduchu okolo trupu lietadla. Obrázok 4.5 znázorňuje typický vzor prúdenia vzduchu v oblasti prednej časti trupu. [15]



Obr. 4.5 Typické správanie sa prúdu vzduchu na prednej časti lietadla [15]

Hlavné črty prúdenia vzduchu v tejto oblasti sú v podstate určené tým, čo sa deje v bodoch A a B, ktoré sú zobrazené na obrázku 4.5. Prúd vzduchu sa zastaví v najprednejšej časti nosa lietadla a zošikmeného čelného skla na spojení nos - čelné sklo. V časti s konštantným prierezom trupu je rýchlosť prúdenia vzduchu veľmi blízka voľnému prúdu vzduchu. Prúd vzduchu neustále zrýchľuje medzi bodmi A a B,

až kým nenaťráží na zlomové body, ako je napríklad spojenie čelného skla a nosu. Avšak tento zjavne jednoduchý charakter toku vzduchu vedie ku komplexným následkom. Napríklad prúdenie cez oblasť kokpitu môže vyvolať rázové vlny. Riešením rázových vln, ako som spomínal už skôr, môže byť predĺženie prednej časti s hladším prechodom. Bude poskytovať nižší odpor vzduchu, ktorý zaručí lepšie prúdenie okolo tejto časti lietadla, alebo sa používa riešenie pridaním generátorov vírov. No v prípade eliminácie rázových vln pridaním generátorov vírov nie je možné vyhnúť sa oddeleniu toku vzduchu a zaručiť jeho opätovné pripojenie. [15]



Obr. 4.6 Generátor vírov Boeingu 737 [16]

4.2 Čelné sklo

Veľkou a dôležitou časťou prednej časti trupu lietadla je čelné sklo. Pri čelnom skle vznikajú konštrukčné problémy, ktoré sú jedinečné pre priehľadné materiály. Tieto problémy sú hlavne výsledkom troch situácií:

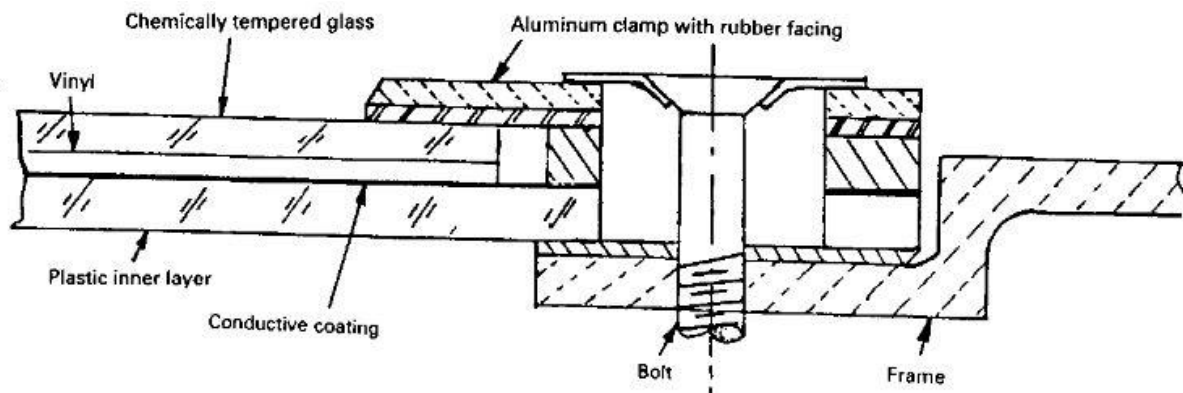
- Prvým a najväčším je veľký nárast výkonu lietadiel za posledné roky, sprevádzaný prísnejšími prevádzkovými podmienkami. Pred 2. svetovou vojnou slúžili čelné sklá lietadiel hlavne ako ochrana pred vetrom a počasím. V dôsledku toho boli štrukturálne požiadavky len zriedka kritické. Neskôr sa lety vo veľkých výškach a pretlakové kabíny stali bežnými medzi dopravnými a vojenskými lietadlami. Dovtedy málo zaťažené čelné sklá sa teraz musia vysporiadať s rozdielmi tlaku medzi kabínou a vonkajším okolím. Okrem toho sa vo vysokej nadmorskej výške vyskytujú teploty okolo $-53\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nie je prekvapujúce, že materiály, spôsoby upevnenia a výrobné technológie priehľadných materiálov neboli na tieto požiadavky pripravené. Muselo prejsť niekoľko rokov aby sa na tieto podmienky adaptovali všetky potrebné výrobné postupy. Aj nadzvukové lety sú teraz realitou a s ním prichádza „aerodynamické zahrievanie“. Sklo má vynikajúcu tepelnú odolnosť, ale jeho použitie môžu obmedziť tvarové obmedzenia a aj jeho hmotnosť. [1]
- Druhý hlavný problém navrhovania konštrukcie s priehľadnými materiálmi sa sústreďuje okolo inherentných vlastností samotných materiálov. Všetky vtedy ale aj teraz dostupné vhodné priehľadné plasty sú veľmi citlivé na pracovné prostredie. Ich pevnosť je vo veľkej miere ovplyvnená teplotou, dynamikou zaťaženia, dĺžkou trvania zaťaženia, vplyvom počasia, starnutím a množstvom

ďalších faktorov. Potreba minimálnej hmotnosti v konštrukciách lietadiel viedol k vysoko prepracovaným metódam analýzy napätia, ale tieto postupy sú zbytočné, pokiaľ sú konštrukčné vlastnosti materiálov nevyhovujúce pre niektoré fázy letu. Samotné sklo je menej ovplyvnené prostredím, ale podlieha veľkým rozdielom vo vlastnostiach medzi jednotlivými kusmi dielov alebo aj samotnými šaržami jednotlivých dielov, takže problém je v podstate rovnaký. Táto podmienka diktuje empirický prístup, to znamená, že nové návrhy musia byť z veľkej časti založené na extrapoláciách úspešných návrhov z minulosti, čo sťažuje začlenenie základných princípov do niekoľkých vzorcov a jednoduchých pravidiel. [1]

- Tretí problém sa týka samotnej výroby súčiastok. Konštrukčná celistvosť skleneného, plastového alebo sklo-plastového dielu je do značnej miery daná metódou a postupmi používanými pri tvarovaní, orezávaní a opracovaní, a následne pri ich žíhaní, či inom tepelnom spracovaní. [1]

Čelné sklo moderného lietadla poskytuje pilotovi oveľa dôležitejší stupeň ochrany ako boli jeho pôvodné funkcie, ktoré boli už spomenuté. Čelné sklo je dnes súčasťou vonkajšieho povrchu trupu. Vo vysokej nadmorskej výške letiace lietadlo musí odolať tlakovému zaťaženiu od prúdu vzduchu a pre svoju polohu je tiež vystavený tvorbe ľadu, nárazom krúp alebo vtákov. Musí spoľahlivo poskytovať najvyšší štandard viditeľnosti bez skreslení a ochrany posádky. [1]

Moderné čelné sklo využíva kompozitný prierez, ktorý spája vynikajúcu odolnosť skla voči oderu a tepelnú vodivosť s vynikajúcou húževnatosťou určitých plastov. Výsledkom je takmer dokonalá optimálna kombinácia s použitím sklenenej povrchovej vrstvy a napnutej akrylovej nosnej vrstvy. V tomto prípade plastová nosná vrstva obsahuje dve samostatné akrylové vrstvy, z ktorých každá je schopná niesť nezávisle tlakové zaťaženie v súlade s požiadavkami na dvojitú záťažovú dráhu alebo štrukturálnu nadbytočnosť. [1] Na základe pracovnej oblasti teplôt, v ktorých sa okná pohybujú, musíme do tejto konštrukcie jednotlivých vrstiev zahrnúť aj systém na odmrázovanie jednotlivých okien.



Obr. 4.7 Konštrukcia typického bezpečnostného skla [1]

Vrstvený typ bezpečnostného skla, ktorý umožňuje lepšie plniť vlastnosti tohto typu skla odstraňuje väčšinu nevýhod klasického skla. Vnútna plastová vrstva je špeciálne zosilnená a značne presahuje okraje skla, takže okno alebo čelné sklo možno namontovať priskrutkovaním alebo zovretím tohto plastového okraju priamo k rámu okna. Plastová hrana umožňuje pevné upnutie bez nebezpečenstva pre sklo a zabraňuje prenosu deformácií rámu. Okrem toho je hrubá plastová vnútorná vrstva funkčná v dvoch ďalších ohľadoch: poskytuje mnohonásobne vyššiu odolnosť proti

nárazu ako bežné vrstvené sklo a pôsobí ako membrána na udržanie tlaku v kabíne pri pretlaku. Okná a čelné sklá lietadla musia odolať nielen pretlaku, ale aj náhlemu poklesu tlaku pri vyrovnávaní tlaku medzi kabínou a okolím. [1]

Bežné žíhané sklo je leštené tabuľové sklo konvenčného žíhania. Polokalené sklo je leštené tabuľové sklo, ktoré bolo vystavené tepelnému spracovaniu, tak aby sa zvýšila jeho pevnosť na približne 2 až 4-násobok pevnosti bežného žíhaného skla. Plne tvrdené sklo je leštené tabuľové sklo, ktoré bolo tepelne spracované, aby sa zvýšila jeho pevnosť približne 4 až 5-násobne. Tvrdené sklo sa nelíši od bežného tabuľového skla, ale oba jeho povrchy sú vystavené rovnomernému vysokému namáhaniu v tlaku. Toto tlakové napätie, ktoré musí byť prekonané predtým, ako môže byť sklo namáhané skutočným ťahom, zodpovedá za zvýšenú pevnosť tvrdeného skla. Všetky rezy, ohýbanie a brúsenie hrán musia byť dokončené pred temperovaním skla. Laminovanie sa samozrejme robí až po temperovaní. [1]

Pri montážnom prístupe je potrebné navrhnuť okolitú konštrukciu tak, aby spĺňala požiadavky na únavovú životnosť trupu lietadla bez toho, aby bola závislá od čelného skla pri akejkoľvek poruche. Namiesto izolácie čelného skla od konštrukčných zaťažení trupu, konštrukcia zámerne prenáša tieto zaťaženia cez čelné sklo. Týmto spôsobom čelné sklo zosilňuje obvodovú štruktúru konštrukcie, čo umožňuje navrhnuť ľahšiu konštrukciu, tak aby spĺňala požiadavky na únavovú životnosť. [1]

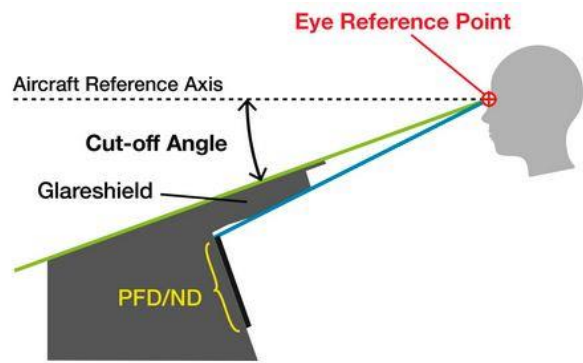
4.3 Usporiadanie kokpitu

Vo všetkých dopravných lietadlách je kokpit základným rozhraním komunikácie medzi posádkou, lietadlom a riadením letovej prevádzky. Je životne dôležité, aby piloti okamžitým a pohodlným spôsobom dostávali všetky informácie, ktoré posádka potrebuje na posúdenie, riadenie a prijatie vhodných opatrení počas letu ale aj počas pobytu na letiskovej ploche bez ohľadu na okolnosti. V dôsledku toho sa kokpit stáva dôležitou oblasťou záujmu pre zlepšovanie technológie rozhrania medzi človekom a strojom. Práve rozhranie človeka a stroja umožňuje pilotovi využívať svoje zmysly na ovládanie mimoriadne zložitého stroja v prostredí, na ktoré človek nie je prispôbený. [18]

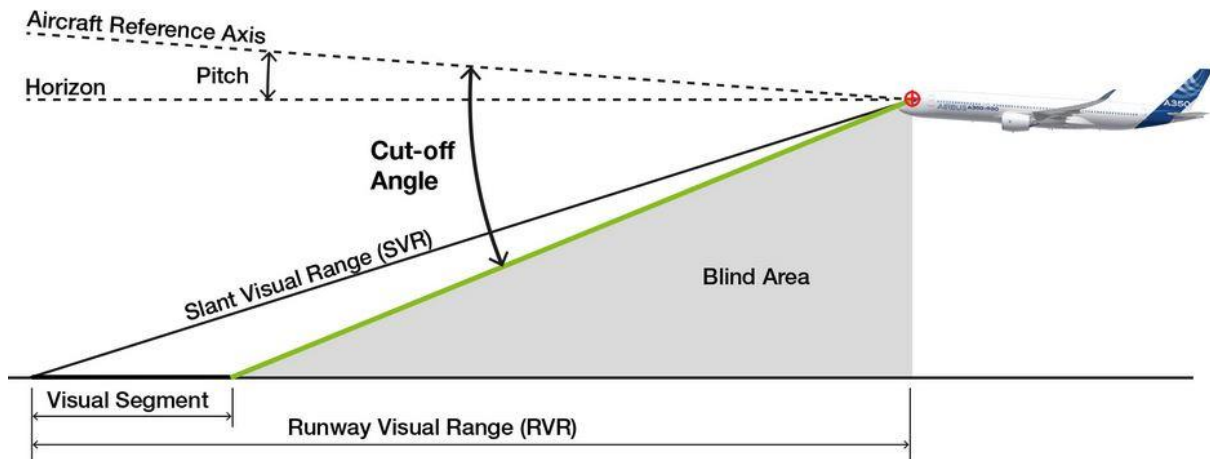
Správna ergonómia kokpitu pomáha pilotovi prirodzeným a bezpečným spôsobom ovládať lietadlo. Aj v kokpite platia isté požiadavky na konštrukciu, usporiadanie, inštaláciu a prevádzku kokpitu, ktoré obsahujú požiadavky napríklad na pozíciu pilota vo vzťahu k nasledujúcim aspektom: [18]

- schopnosť dosiahnuť na ovládacie prvky bez námahy z referenčnej polohy (so zapnutým bezpečnostným pásom a nastaveným sedadlom, tak aby sa oči pilota nachádzali v referenčnej polohe)
- viditeľnosť na letové prístroje bez nadmerného úsilia
- dobrá viditeľnosť von z kokpitu
- ľahká ústna komunikácia vo vnútri kokpitu

Správne nastavenie sedadla je základom pre možnosť správneho ovládania lietadla. Kokpit je navrhnutý tak, že keď si pilot sedadlo nastaví pomocou referenčného bodu oka, všetky prístroje a displeje na prednom paneli budú v jeho zornom poli. Taktiež bude zaistený správny výhľad cez čelné sklo kokpitu. [19]



Obr. 4.8 Správna poloha hlavy pilota lietadla [19]



Obr. 4.9 Optimálny výhľad z kokpitu [19]

Konzistentný uhol pohľadu poskytuje niekoľko prevádzkových výhod, ako napríklad uľahčenie ovládania lietadla tým, že poskytuje pilotom konzistentnú vizuálnu referenciu, opakovateľnú pri každom lete. Toto je obzvlášť užitočné počas konečného priblíženia. Očný referenčný indikátor sa nachádza na stredovej štruktúre čelného okna. Indikátor je zariadenie, ktoré je vybavené 3 guľôčkami natretými červenou a bielou farbou. Na dosiahnutie správnej polohy sedenia musia piloti zarovnať červenú a bielu guľôčku, čo znamená, že biela guľôčka je v zákryte s červenou guľôčkou, až vtedy je dosiahnutá správna poloha sedadla. [19]



Obr. 4.10 Indikátor správnej polohy očí pilota [19]

Aj keď existuje veľké množstvo rôznych variácií usporiadania kokpitu, zvyčajne všetky veľké dopravné lietadlá obsahujú podobné usporiadanie základných systémov a ovládacích prvkov. Hneď pred pilotmi sa nachádza hlavný panel s letovými prístrojmi, ktorý predovšetkým slúži na zobrazenie hlavných displejov so základnými informáciami o rýchlosti, nadmorskej výške, umelého horizontu, navigácie a mnohými ďalšími. Nad hlavným panelom sa nachádza panel na ovládanie autopilota. Pokiaľ sa presunieme nad hlavy pilotov, uvidíme horný ovládací panel, ktorý obsahuje spínače rôznych agregátov, svetiel a výstrah. Piloti ovládajú lietadlo pomocou tzv. „baranov“ umiestnených medzi ich nohami. V iných lietadlách, ako napríklad lietadlá Airbus používanú miesto „baranov“ „sidestick“. Pohybom baranov smerom k sebe a od seba ovládajú výškové kormidlo (pre stúpanie a klesanie) a natočením baranov do strán určujú náklon lietadla do strán. Pomocou pedálov na podlahe kokpitu sa ovláda smerové kormidlo a pokiaľ sa lietadlo nachádza na zemi, tak aj brzdy. Stredový panel medzi pilotmi obsahuje niekoľko ovládacích systémov, ako napríklad regulátory ťahu motorov a páky ovládania klapiek a spojlerov, štart motorov, parkovaciu brzdú, ale aj počítač letovej optimalizačnej sústavy (FMC – flight management computer) a rádiokomunikačný panel. [29]



Obr. 4.11 Kokpit lietadla Boeing 737-800 [20]

4.4 Vstup do kokpitu

Letecký svet sa systematicky snaží poučiť zo svojich chýb, a chýb, ktoré zapríčinili rôzne nehody a katastrofy. Jednou z takýchto ohromných udalostí, ktorá otriasla celým svetom sa stala nehoda 11.09.2001 pri útoku na Svetové obchodné centrum v New Yorku. Jednou z príčin tejto katastrofy bol nedostatočne zabezpečený vstup do kokpitu a k samotným pilotom. Týmto dňom si svet začal uvedomovať potrebu ochrany pilotov v kokpíte počas letu, aby sa podobné incidenty už neopakovali. [21]

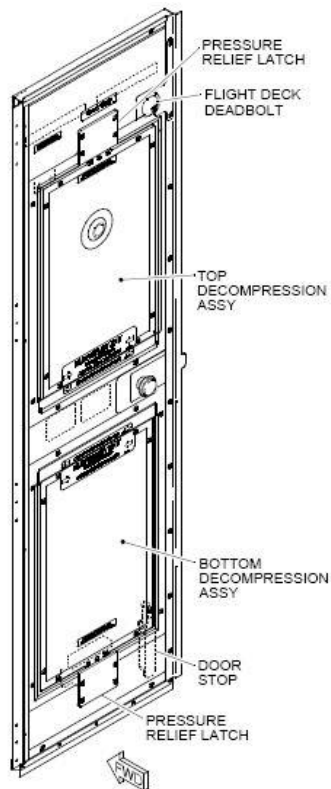
V súčasných dopravných lietadlách sa stretávame s bezpečnostnými dverami, ktoré sú navrhnuté tak, aby vydržali prípadný útok na pilotnú kabínu. Samotné dvere sú vyrobené z kevlaru. Kevlar je super pevné vlákno, ktoré sa v armáde využíva napríklad pri výrobe nepriestrelných viest. Aj vďaka kevlaru sú dvere nepriestrelné a nepriepustné. [21]

System, ktorý zabezpečuje prístup do kokpitu sa skladá zo samotných dvier, klávesnice na zadávanie kódu, ktorá sa nachádza na strane kabíny pre pasažierov. Následne už v kokpíte sa nachádza zvukový modul, prepínač zámku dverí kabíny, manuálny zásuvný zámok a priezor na možnosť sledovania situácie pred dverami kokpitu (v súčasnej dobe sa nahradilo kamerou a displejom). [21]

Dvere zavesené na pántoch sa otvárajú smerom do priestoru pre cestujúcich. Majú tri elektrické západky, ktoré sa v uzamknutom stave zasunú do pripravených dier v prepážke lietadla. Za normálnych podmienok, keď sú dvere zatvorené, zostanú automaticky zamknuté. V prípade potreby vstupu do kokpitu lietadla, sú dvere až do overenia pilotom a odomknutia dverí z vnútra kokpitu zamknuté až do momentu, kým sa na ne nezatlačí. V prípade, že piloti neodpovedajú na požiadavku na vstup do kokpitu, môžu byť dvere otvorené pomocou klávesnice umiestnenej v priestore kabíny pre cestujúcich zadáním 3 – 7 miestneho číselného kódu (tento kód a jeho dĺžku si programuje samotný prevádzkovateľ lietadla). [21]

Vo dverách pilotnej kabíny sú umiestnené dva tlakové senzory, ktoré v prípade straty tlaku odomknú dva dekompresné panely v hornej a spodnej časti dverí, a tým sa umožní vyrovnanie tlaku, aby nedošlo k poškodeniu konštrukcie lietadla. V prípade potreby sa tento panel dá použiť ako núdzový východ pre pilotov do priestoru kabíny pre cestujúcich. Tento núdzový východ sa dá manuálne otvoriť pomocou dvoch istiacich čapov. [22]

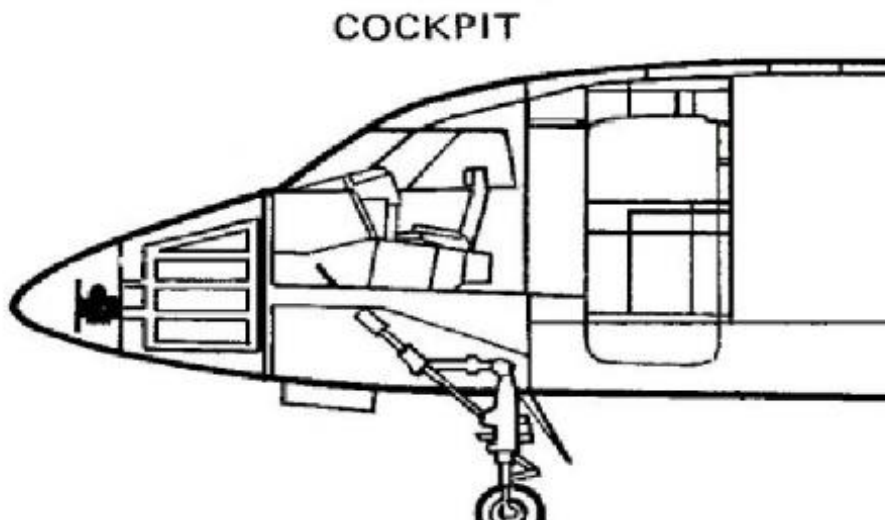
Manuálny zásuvný zámok (ako ho poznáme na klasických dverách) sa využíva iba vtedy, keď sa lietadlo nachádza na zemi. Dvere tak môžu byť zatvorené aj bez toho, aby bol aktivovaný elektrický zámok dverí, pokiaľ lietadlo nie je pripojené k zdroju elektrického prúdu, alebo nemá naštartované motory, ktoré vyrábajú elektrinu. Pokiaľ sú dvere zamknuté pomocou tohoto zámku, dvere nie je možné otvoriť iným spôsobom než len cez kokpit. [22]



Obr. 4.12 Vstupné dvere do kokpitu [23]

4.5 Uloženie predného podvozku

Veľké dopravné lietadlo pozostáva zvyčajne z dvoch hlavných podvozkov uložených v centrálnej časti trupu lietadla a jedného predného podvozku uloženého v prednej časti trupu lietadla, ktorý je vycentrovaný na stred trupu. Predná časť trupu lietadla je rozdelená podlahou, ktorá tvorí hlavnú palubu, v ktorej je umiestnený kokpit. Pod hlavnou palubou sa nachádza priestor pre predný podvozok. [30]



Obr. 4.13 Predná časť trupu lietadla [31]

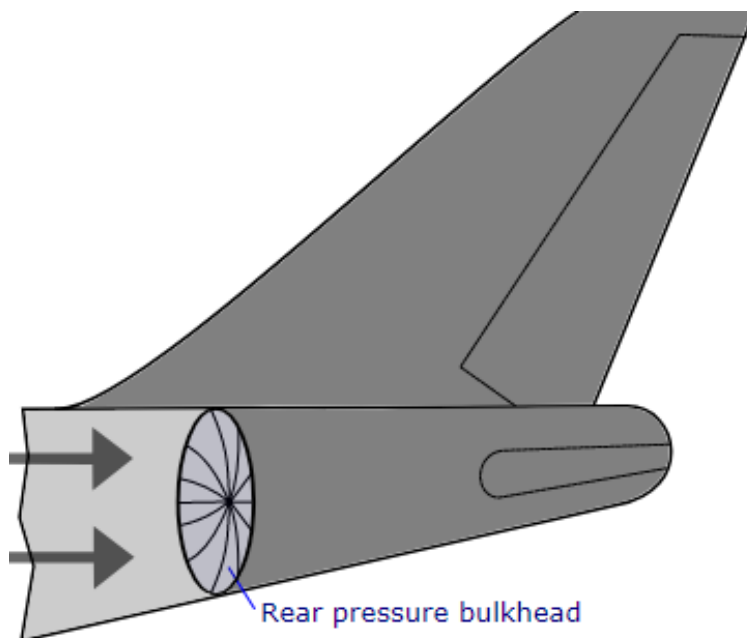
Každý podvozok je kĺbovo spojený tak, aby sa dal po vzlietnutí zatiahnuť do úložného priestoru, ktorý je pod prednou časťou trupu. Úložný priestor pre predný podvozok je ohraničený konštrukciou, ktorá musí byť dostatočne pevná, aby odolala namáhaniam od podvozku. Je vybavený dvoma klapkami otvárajúcimi sa smerom nadol na spodnej časti trupu, aby bolo možné zasunúť podvozok do vnútra trupu, tak aby sa po vzlete znovu obnovil požadovaný aerodynamický tvar lietadla. Daný priestor tiež tvorí hranicu medzi pretlakovou kabínou vo vnútri lietadla a nepretlakovým priestorom pre podvozok. Z tohto dôvodu musí byť konštrukcia nepriepustná a schopná odolať tlakovým rozdielom medzi pretlakovou kabínou a vnútrom predného podvozkového priestoru, ktorý nie je pretlakový. Priestor okolo predného podvozku vo všeobecnosti slúži ako úložný priestor pre rôzne ovládacie prvky lietadla. Avšak je ťažko využiteľný kvôli zložitému tvaru, a preto je značný objem nevyužitý. Konštruktéri sa snažia optimalizovať uloženie predného podvozku tak, aby jeho usporiadanie dovolilo uloženie ďalších možných prístrojov v prednej časti trupu lietadla. [30]



Obr. 4.14 Predný podvozok lietadla Boeing 737-800 [34]

5 Ukončenie trupu lietadla

Konštrukcia prepážok, ktorá oddeľuje rôzne časti lietadla môžu cestujúci ľahko rozpoznať ako vertikálne konštrukcie oddeľujúce priestory v kabíne. Napríklad pri prechode prvou triedou, ekonomickou triedou alebo priestorom pre posádku. Okrem viditeľných predeľovacích konštrukcií sa v zadnej časti lietadla nachádza pretlaková prepážka nazývaná aj ako „aft pressure bulkhead“, ktorá oddeľuje pretlakovú kabínu od chvosta lietadla. [32]



Obr. 5.1 Zadná pretlaková prepážka [33]

Zatiaľ čo poskytovanie konštrukčnej podpory trupu je kľúčovou vlastnosťou prepážok, najdôležitejšou úlohou zadnej pretlakovej prepážky je udržiavať správny tlakový gradient v priestore pre cestujúcich. Zadná pretlaková prepážka je komponent, ktorý utesňuje pretlakovú časť lietadla počas letu. Je to analogické, ako napríklad uzáver na tlakovej kyslíkovej nádobe. [32]

Konštrukcia a materiál zadnej pretlakovej prepážky sa medzi jednotlivými lietadlami líši a je neustále sa vyvíjajúcou oblasťou výskumu. Zakrivené pretlakové prepážky znižujú množstvo materiálu potrebného na konštrukciu, ale zanechávajú menej využiteľného priestoru v kabíne. Na druhej strane, ploché pretlakové prepážky sú konštrukčne drahšie na výrobu a majú väčšiu hmotnosť, ale vytvárajú väčší vnútorný priestor, pozri obrázok 5.2. Zatiaľ čo sa tradične vyrábajú z hliníka, mnohí leteckí inžinieri teraz hľadajú použitie kompozitných materiálov na úsporu peňazí a hmotnosti. [32]

Z konštrukčného hľadiska poskytuje pol-gulový tvar prepážky ideálnu zadnú stenu, pretože dosahuje najlepšie rozloženie napätia pre dané množstvo materiálu. Na základe tohto argumentu je najlepším tvarom zadnej kupole pretlakovej kabíny pol-guľa. Pokiaľ máme zvolený tvar pretlakovej prepážky, nasleduje náročný proces spojenia prepážky s trupom a chvostom lietadla. [1]

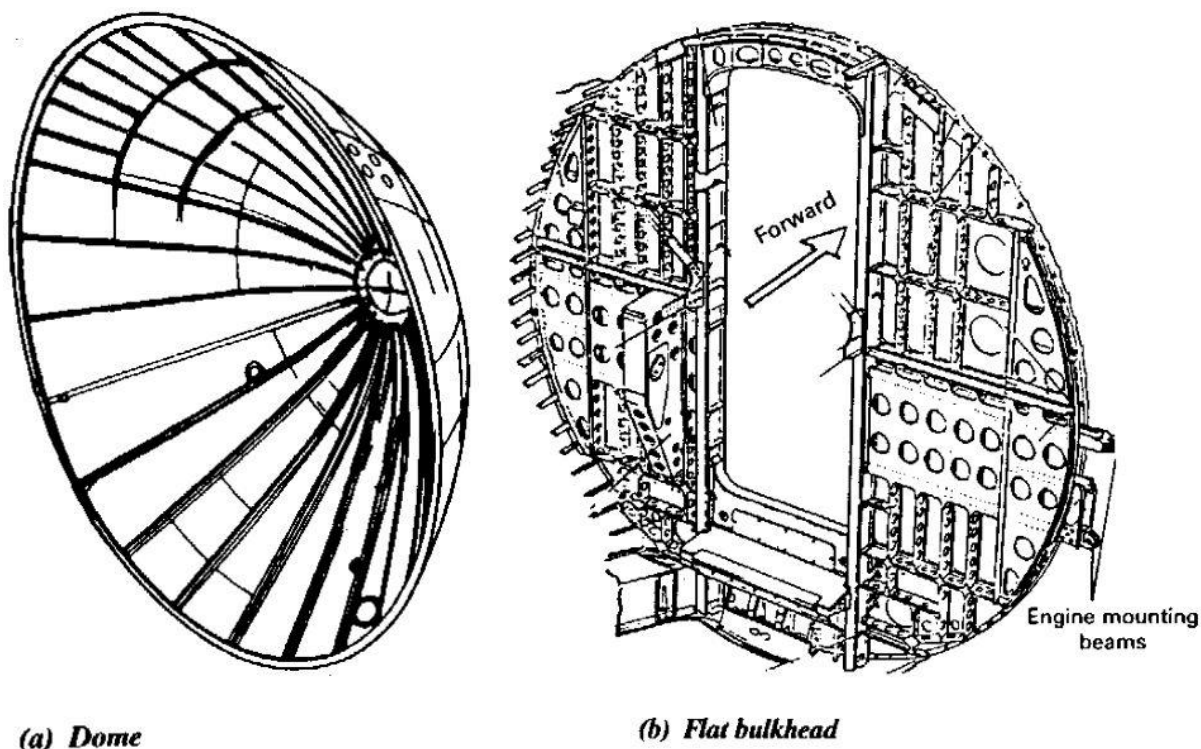
Táto konštrukcia sa riadi dvoma základnými úvahami:

- V dôsledku pomerne veľkej sily pôsobiacej na kupolu je žiadúce vyhnúť sa akémukoľvek radiálnemu odsadeniu medzi trupom a kupolou.
- V blízkosti spoja nesmie dôjsť k zníženiu pozdĺžnej ohybovej tuhosti steny, na ktorej závisí jej elastická stabilita. [1]

Nie je jednoduché vytvoriť konštrukciu, ktorá spĺňa tieto požiadavky, tak aby zahŕňala lokálne vystuženie kupoly okolo jej základne, a to na jej vnútornom aj vonkajšom povrchu. Samotný spoj je vyrobený zložením troch častí lietadla:

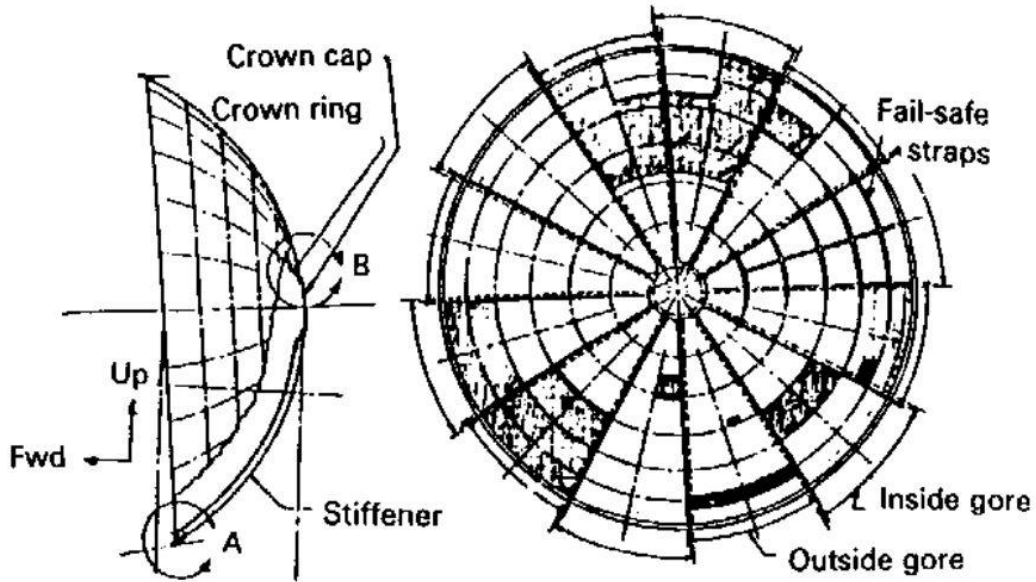
- zadná časť trupu,
- pretlaková prepážka (kupola),
- chvostová časť trupu,

tak aby vytvorili jeden preplátovaný spoj. Kupola a chvostová časť trupu sú ďalej priamo spojené pripavením k vonkajším výstuham, ktoré tvoria vonkajšiu výstuž kupole. Pri zvažovaní konštrukcie zadnej kupoly tlakovej kabíny je cieľom dosiahnuť minimálnu hmotnosť samotnej kupoly a minimálnu mieru interferenčných napätí na styku kupoly a stien trupu. [1]



Obr. 5.2 Pretlaková prepážka tvaru: a) Kupola b) Rovná prepážka [1]

Veľká pretlaková kupola dopravného trupu lietadla je umiestnená v zadnej časti trupu, kde horná časť kupoly je zvyčajne mierne naklonená dopredu vo vertikálnej rovine, aby sa prispôbila zúženiu zadnej časti trupu. Hliníková kupolová konštrukcia pozostáva z natiahnutých tvarovaných výrezov z hliníkového plechu spojených na okrajoch. K vonkajšiemu povrchu škrupiny sú prilepené zdvojovače v miestach, kde sa plechy prekrývajú. Okrem toho sú radiálne a obvodové bezpečnostné pruhy pripavené k vonkajšiemu povrchu kupole, tak aby sa zabránilo šíreniu trhlin. Vystuženie kupoly je riešené radiálnymi výstuhami z hliníkového plechu. [1]



Obr. 5.3 Konštrukcia zadnej pretlakovej prepážky v tvare kupoly [1]

Stav jednotlivých pretlakových prepážok by sa mal kontrolovať s rovnakou pravidelnosťou ako ostatné dôležité časti lietadla. Aj keď je to zriedkavé, niekoľko prípadov zlyhania prepážok sa skončilo katastrofálnym poškodením. Okrem zjavných známkov poškodenia, ako je korózia, by udalosti ako nárazy chvosta (tail strike), ktoré spôsobujú obrovské šmykové napätie na zadnej časti lietadla, mali podnietiť ďalšiu kontrolu zadnej pretlakovej prepážky. [32]

6 Porovnanie konštrukcii lietadiel

Na záver tejto bakalárskej práce chcem poukázať na jednotlivé kombinácie konštrukčných prvkov, o ktorých som sa zmienil v predchádzajúcich kapitolách a poukázať na najväčšie rozdiely u jednotlivých výrobcov. V práci bolo stanovených niekoľko cieľov. Na podklade štúdia odbornej literatúry a riešenia samotnej problematiky som si zvolil dva modely lietadiel, ktoré by som v tejto kapitole porovnal. Zvolenými lietadlami sú: Airbus A320neo a Boeing 737 MAX-8. Výber týchto dvoch lietadiel bol do značnej miery ovplyvnený súčasným trendom vývoja lietadiel, ktoré už využívajú veľkú časť konštrukcie trupu z kompozitných materiálov.

Lietadlá Airbus A320 Family sú úzkotrupé lietadlá produkované spoločnosťou Airbus sídliacou vo Francúzku. Airbus A320 je základným modelom z radu Airbus A320 Family, z ktorého následne vznikli lietadlá Airbus A321, A319 a A318. Následnou modernizáciou daných lietadiel vznikli modely A321neo, A320neo a A319neo, kde označenie NEO znamená „New Engine Option“ (Nová verzia motorov). Všetky varianty sú využívané na krátke až stredne dlhé lety. Tento modelový rad slúži ako civilné dvojmotorové prúdové dopravné lietadlo. Jednotlivé modely A320 Family sa odlišujú najmä svojou veľkosťou, preto pri porovnávaní v jednotlivých tabuľkách budem uvažovať primárne model A320neo.

Rovnako ako lietadlá Airbus A320 Family aj spoločnosť Boeing sídliaca v Spojených Štátoch Amerických operuje s lietadlami krátkeho až stredne dlhého doletu. Jedná sa o úzkotrupé civilné dvojmotorové prúdové dopravné lietadlá. Nesú označenie radu Boeing 737 Family. Do tejto rady lietadiel spadajú lietadlá od verzie 737-100 až 737-900 a najnovšia verzia 737 MAX 7,8,9,10. Verzie 737-100 a 737-200 zaradujeme medzi pôvodné lietadlá 737, následne 737-300 až 737-500 medzi 737 Classic, verzie 737-600 až 737-900 patria k novej generácii označovanej aj ako 737 NG („Next Generation“), následne prišla štvrtá generácia Boeing-u 737 MAX 7,8,9,10. Znovu ako aj v prípade Airbus-u sú rozdiely najmä vo veľkosti medzi jednotlivými modelmi no ako aj jednotlivé generácie nasledovali môžeme sledovať aj vývoj jednotlivých častí lietadiel. Priamym konkurentom modelu A320neo je Boeing 737 MAX-8 a aj z tohto dôvodu ho budem využívať pri porovnávaní.

6.1 Rozmery a kapacita lietadiel

Výsledné rozmery trupov jednotlivých lietadiel, ako bolo spomenuté v kapitole 2 a 3, zodpovedá najmä počtu osôb nachádzajúcich sa na palube lietadla a aj nákladu, ktorý bude spolu s cestujúcimi prepravený. Mnou vybrané lietadlá Airbus A320neo a Boeing 737 MAX-8 sa do istej miery zhodujú v kapacite. V tabuľke 6.1 a 6.2 sa nachádzajú údaje o prepravnej kapacite lietadiel.

Tab. 6.1 Počet sedadiel pre cestujúcich v lietadle Airbus A320neo [35]

		A320-200	Spolu:
Rovnaká trieda	Ekonomická (vzdialenosť 28/29 ln)	180	180
Zmiešaná trieda	Ekonomická (vzdialenosť 32 ln)	138	150
	Prvá trieda (vzdialenosť 36 ln)	12	

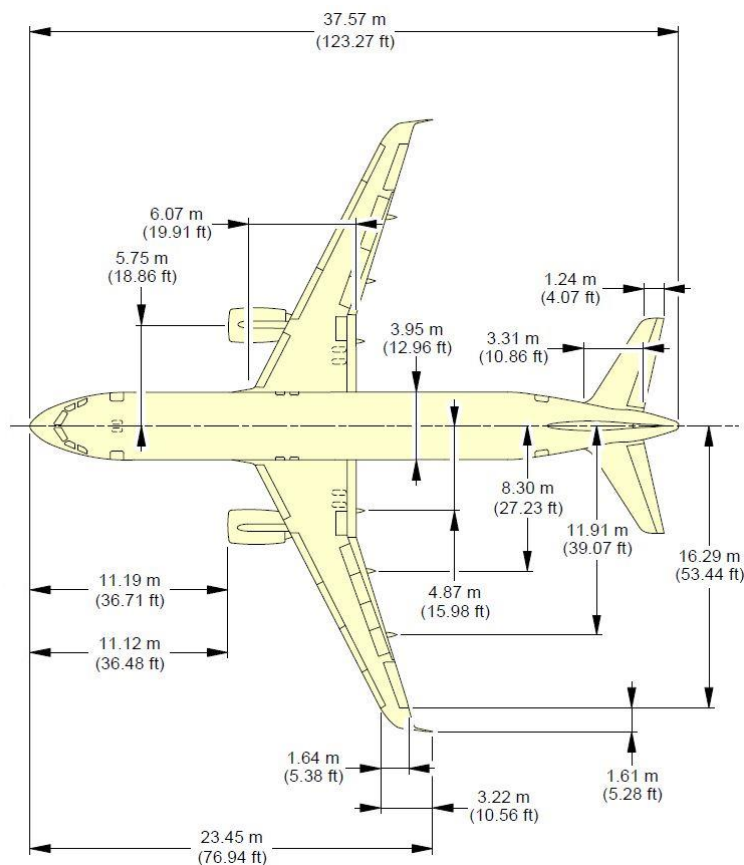
Tab. 6.2 Počet sedadiel pre cestujúcich v lietadle Boeing 737 MAX-8 [36]

		737 MAX-8	Spolu:
Rovnaká trieda	Ekonomická (vzdialenosť 29/30 In)	189	189
Zmiešaná trieda	Ekonomická (vzdialenosť 29/30 In)	166	178
	Biznis (vzdialenosť 36 In)	12	

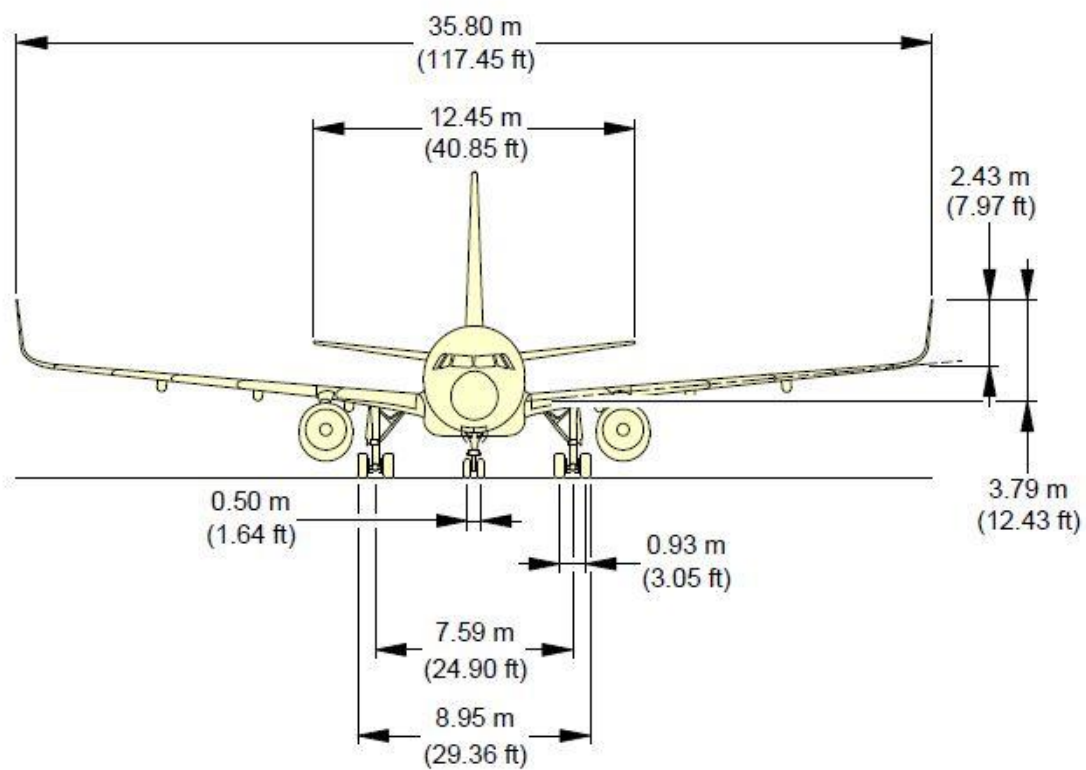
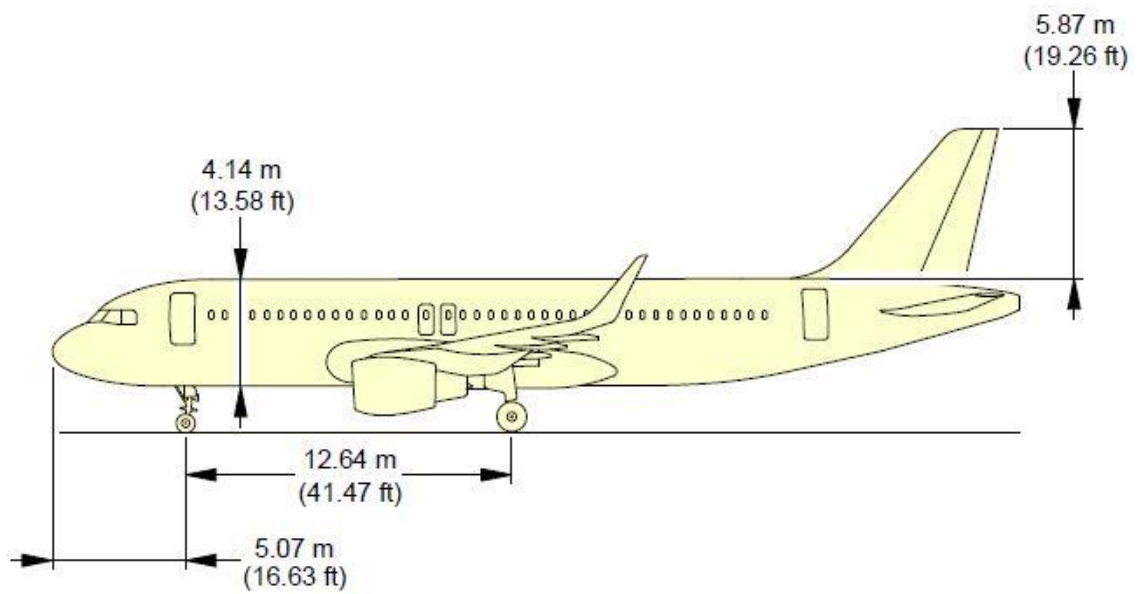
Pokiaľ porovnáme maximálny počet cestujúcich v kabíne lietadla, tak je zrejmé, že Boeing 737 MAX-8 má o 9 miest viac než Airbus A320neo. [36] V konečnom výsledku sa to odzrkadlí aj na samotnej dĺžke trupu lietadla, ktorá pri Boeing-u 737 MAX-8 činí 39,12 metra a pri Airbus-e A320neo to je 37,57 metra. [35] [36] Pretože obe lietadlá sú úzkotrupé, používajú rozloženie sedadiel je 3 - 3. Pri určovaní priemeru trupu lietadla konštruktéri musia uvažovať aj nad samotnou šírkou sedadiel a uličkou. Z obrázkov 6.6 a 6.9 môžeme pozorovať širšie sedadlá pri lietadle Airbus A320neo ale na úkor užšej uličky. Trup nie je dokonalého kruhového prierezu, a preto určujeme výšku a šírku trupu. V oboch prípadoch je Airbus A320neo väčší a to o 0,13 metra do výšky a 0,19 metra do šírky kabíny. [35] [36]

Tab. 6.3 Hlavné rozmery trupu lietadiel [35] [36]

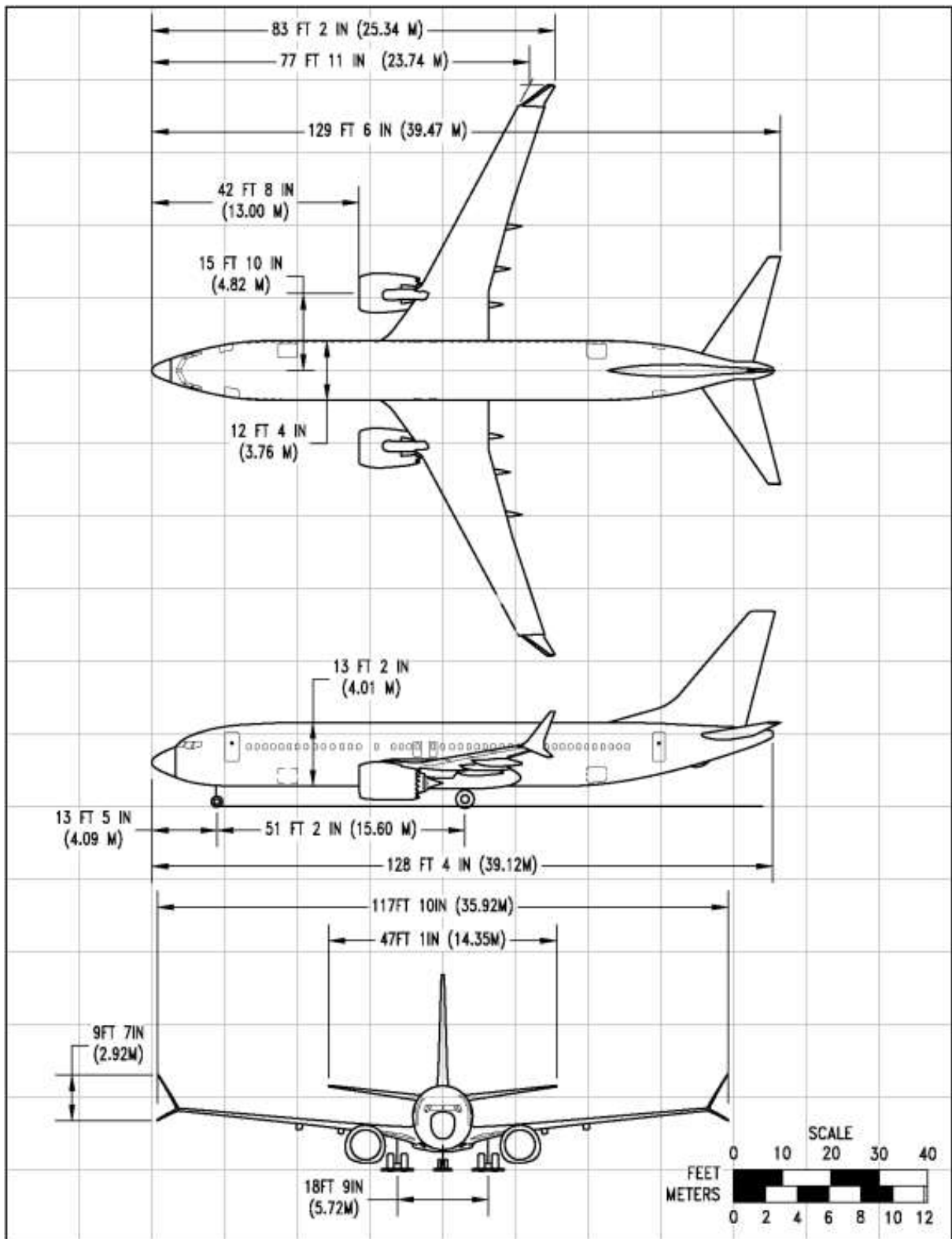
	A320neo	737 MAX-8
Dĺžka trupu [m]	37,57	39,12
Výška trupu [m]	4,14	4,01
Šírka trupu [m]	3,95	3,76



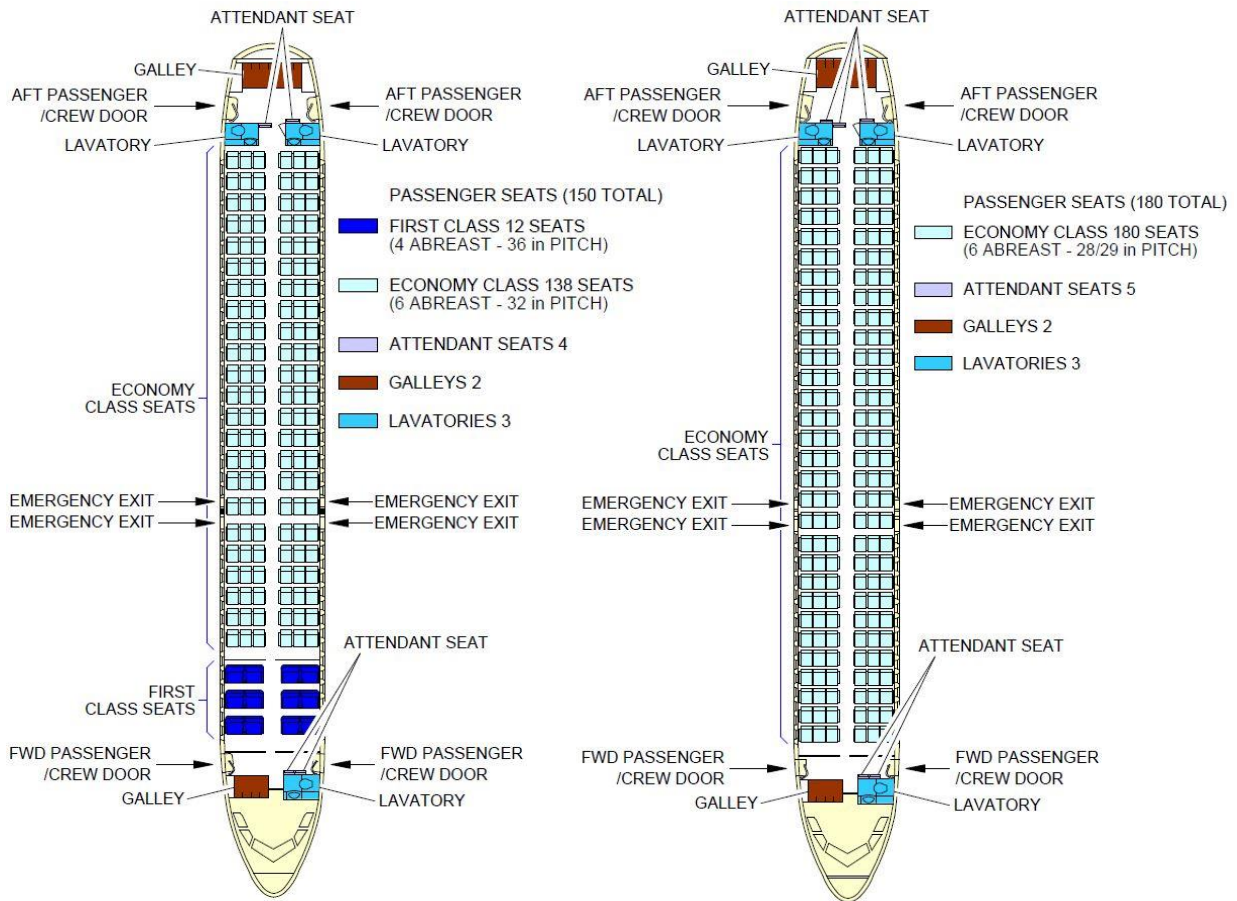
Obr. 6.1 Airbus A320neo - rozmery trupu 1 [35]



Obr. 6.2 Airbus A320neo - rozmery 2 [35]

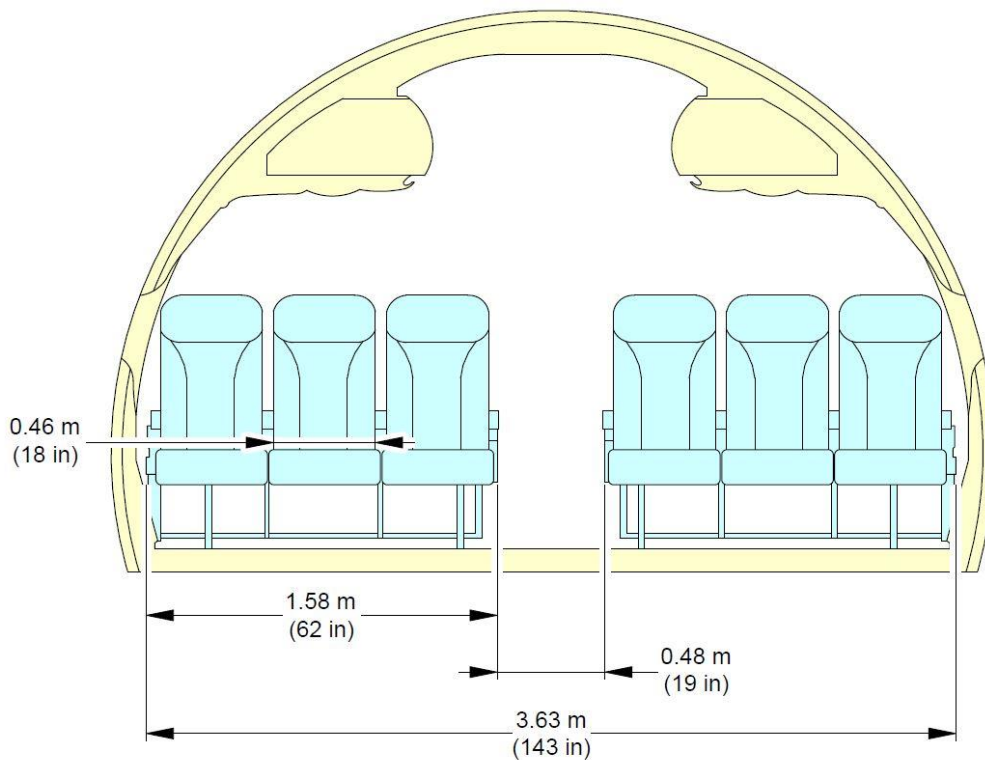


Obr. 6.3 Boeing 737 MAX-8 – rozmery [36]



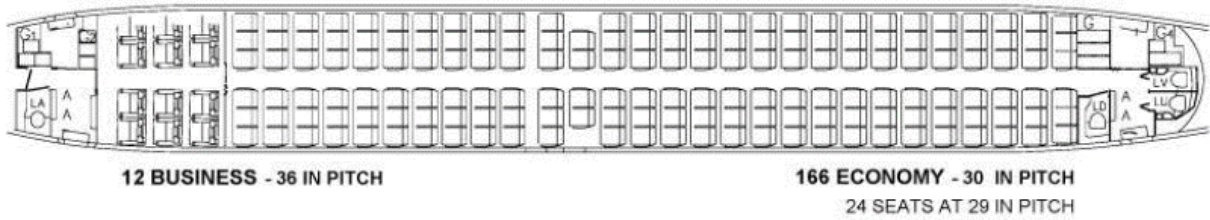
Obr. 6.4 Airbus A320neo - kombinácia prvej triedy a ekonomickej [35]

Obr. 6.5 Airbus A320neo - rozloženie ekonomickej triedy [35]



Obr. 6.6 Airbus A320neo - usporiadanie interiéru ekonomickej triedy [35]

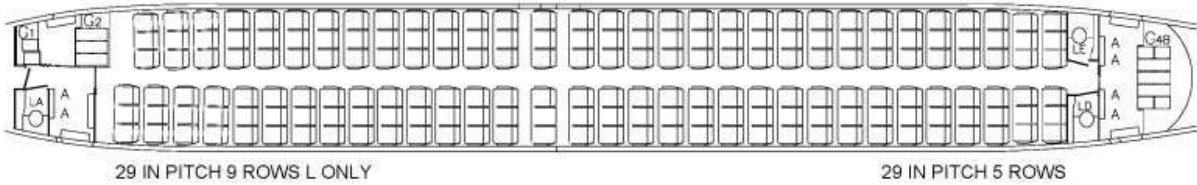
178 MIXED CLASS



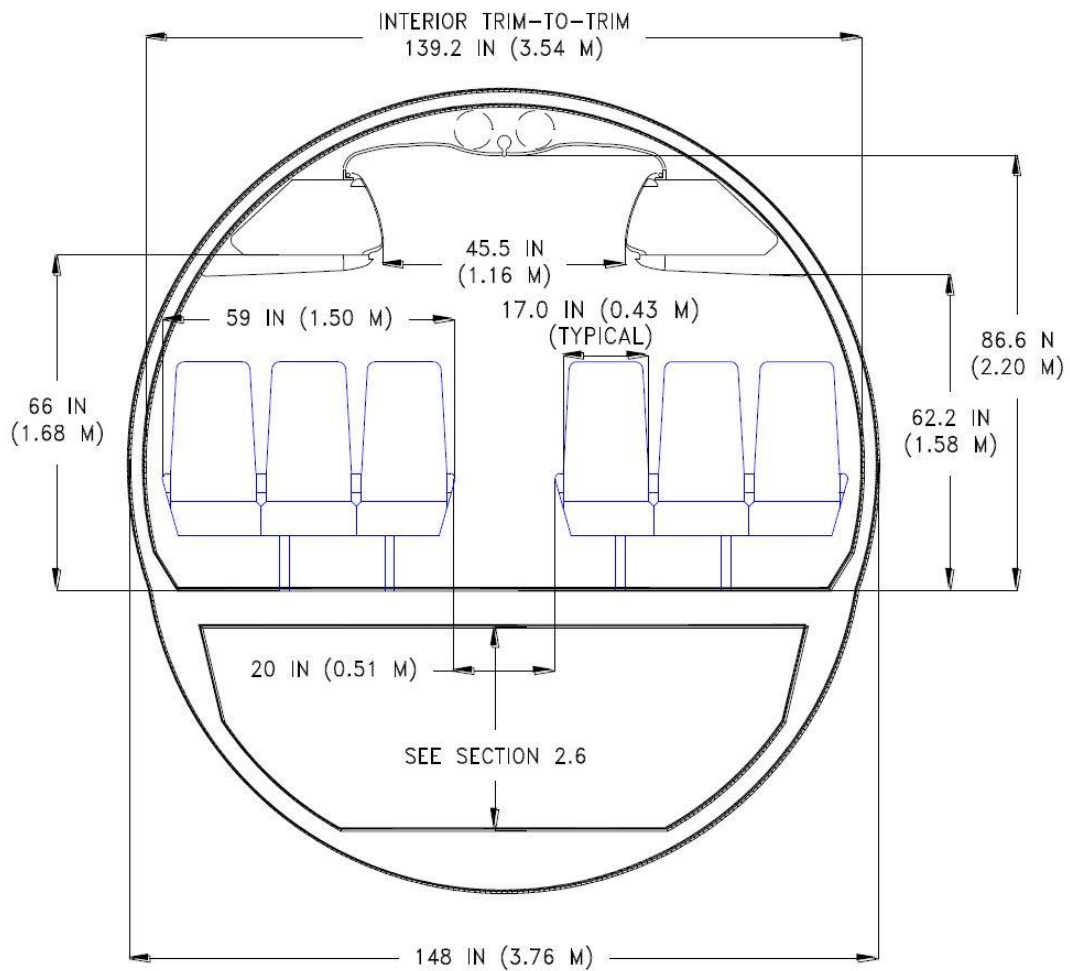
Obr. 6.7 Boeing 737 MAX-8 - kombinácia biznis triedy a ekonomickej triedy [36]

189 SINGLE CLASS

30 IN PITCH



Obr. 6.8 Boeing 737 MAX-8 - rozloženie ekonomickej triedy [36]



Obr. 6.9 Boeing 737 MAX-8 - usporiadanie interiéru ekonomickej triedy [36]

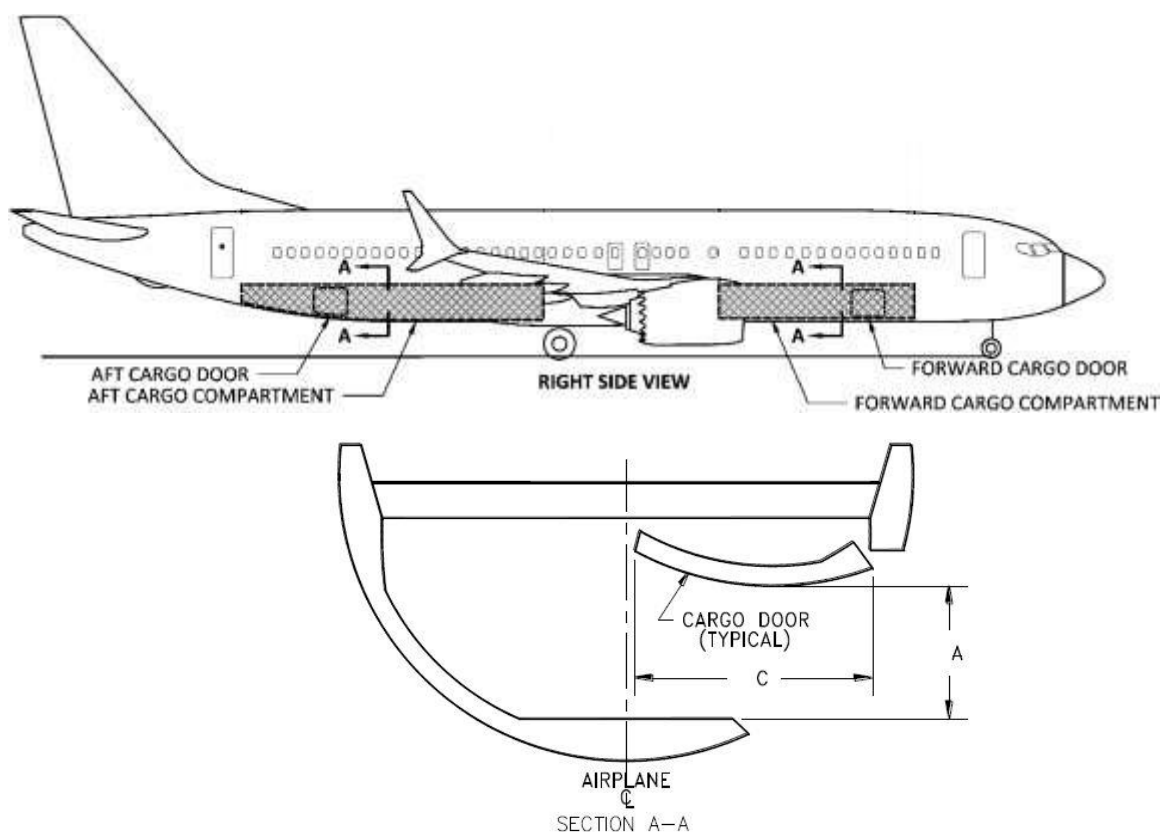
6.2 Nákladný priestor v Airbus A320 a Boeing 737

Boeing 737 MAX-8 má výhodu v dĺžke trupu, avšak celkový objem nákladného priestoru je o 0,49 m³ väčší v modeli Airbus A320neo. No rozdiel v samotných dĺžkach nákladných priestorov predstavuje 1,10 m v zadnom nákladnom priestore a 2,57 m v prednom nákladnom priestore pre model Boeing 737 MAX-8. [35] [36]

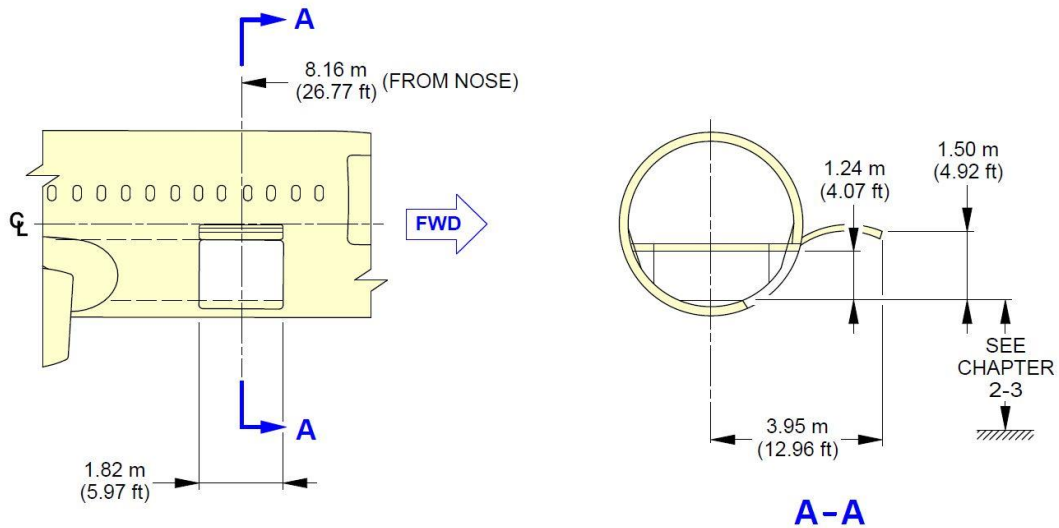
Tab. 6.4 Veľkosť spodného nákladného priestoru v lietadle Airbus A320neo a Boeing 737 MAX-8 [35] [36]

	A320neo	737 MAX-8
Maximálny objem spodného nákladného priestoru [m ³]	44,09	43,60
Dĺžka predného nákladného priestoru [m]	4,95	7,52
Dĺžka zadného nákladného priestoru [m]	9,80	10,90

Všetky nákladné dvere sú pretlakové, ale môžu sa líšiť v spôsobe otvárania a zatvárania. V prípade lietadla Airbus A320neo je použitý systém otvárania nákladných dverí smerom von, ako je znázornené na obrázku 6.11. Naopak v prípade lietadla Boeing 737 MAX-8 sú použité dvere otvárajúce sa do vnútra, ako je znázornené na obrázku 6.10.



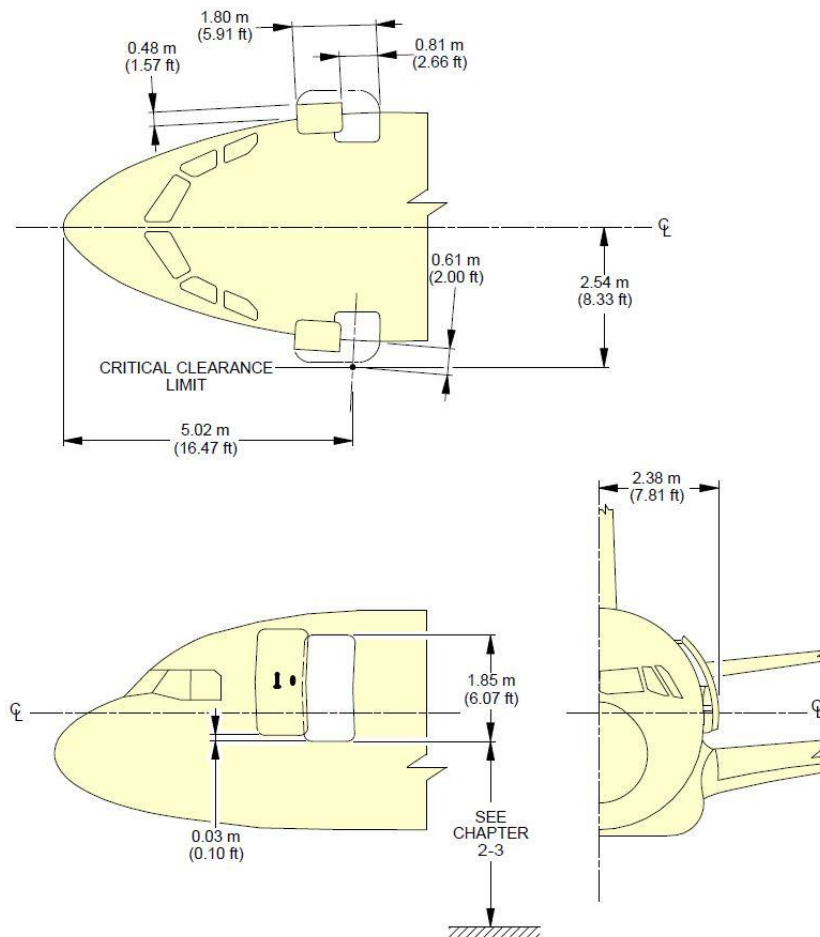
Obr. 6.10 Otváranie nákladných dverí u lietadla Boeing 737MAX-8 [36]



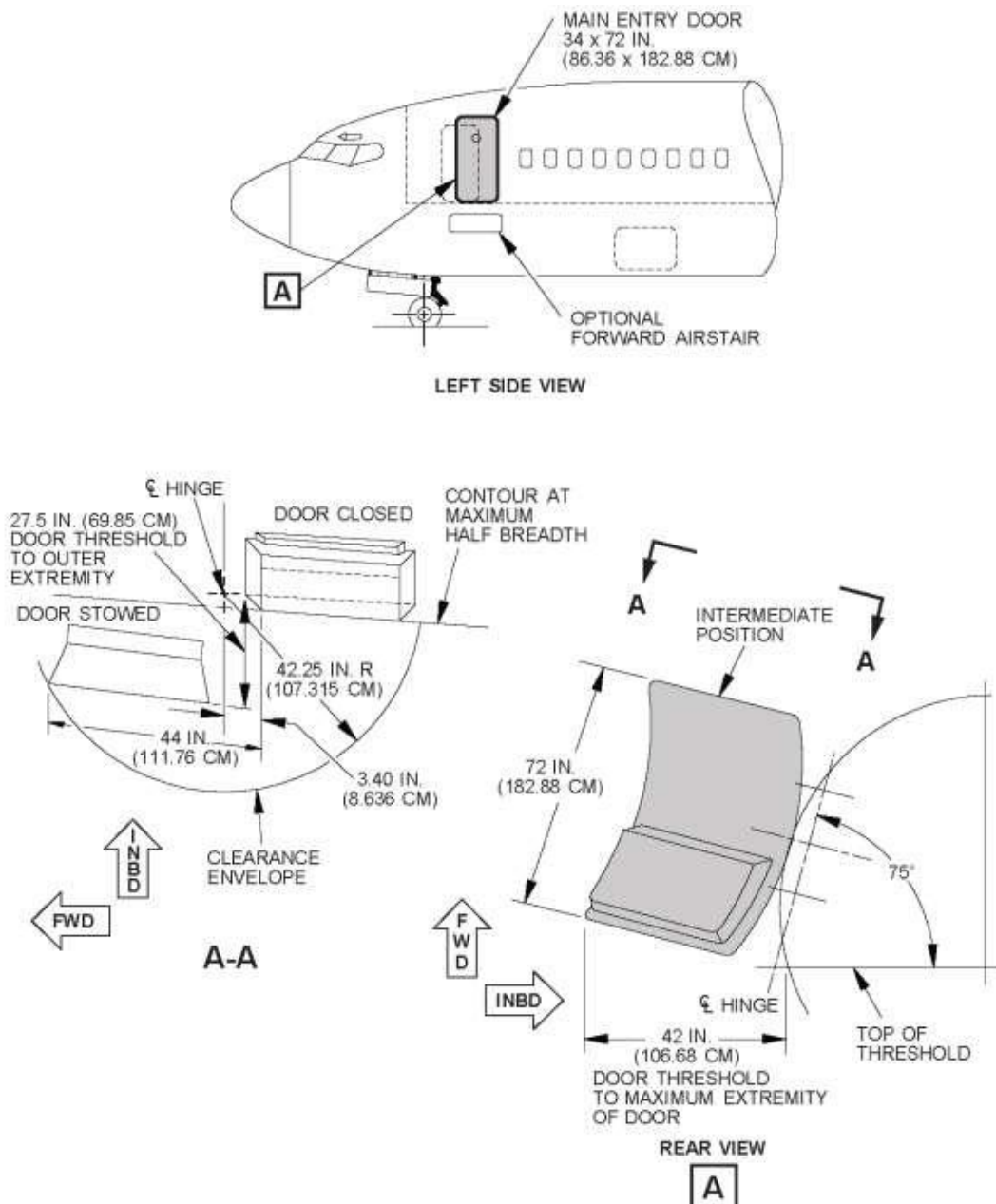
Obr. 6.11 Otváranie nákladných dverí u lietadla Airbus A320neo [35]

6.3 Systém dverí pre Airbus A320 a Boeing 737

Pri nástupe do lietadla cestujúci ihneďvidia nástupné dvere. Jednotliví výrobcovia využívajú odlišné systémy otvárania a zatvárania dverí, ale všetky nástupné dvere sú „plug-type“ z dôvodu pretlakovej kabíny. Airbus A320 využíva systém horizontálne otvárajúcich sa dverí. Zatiaľ čo Boeing 737 využíva systém „swing opening door“.



Obr. 6.12 Otváranie nástupných dverí u lietadla Airbus A320neo [35]



Obr. 6.13 Otváranie nástupných dverí u lietadla Boeing 737 MAX-8 [36]

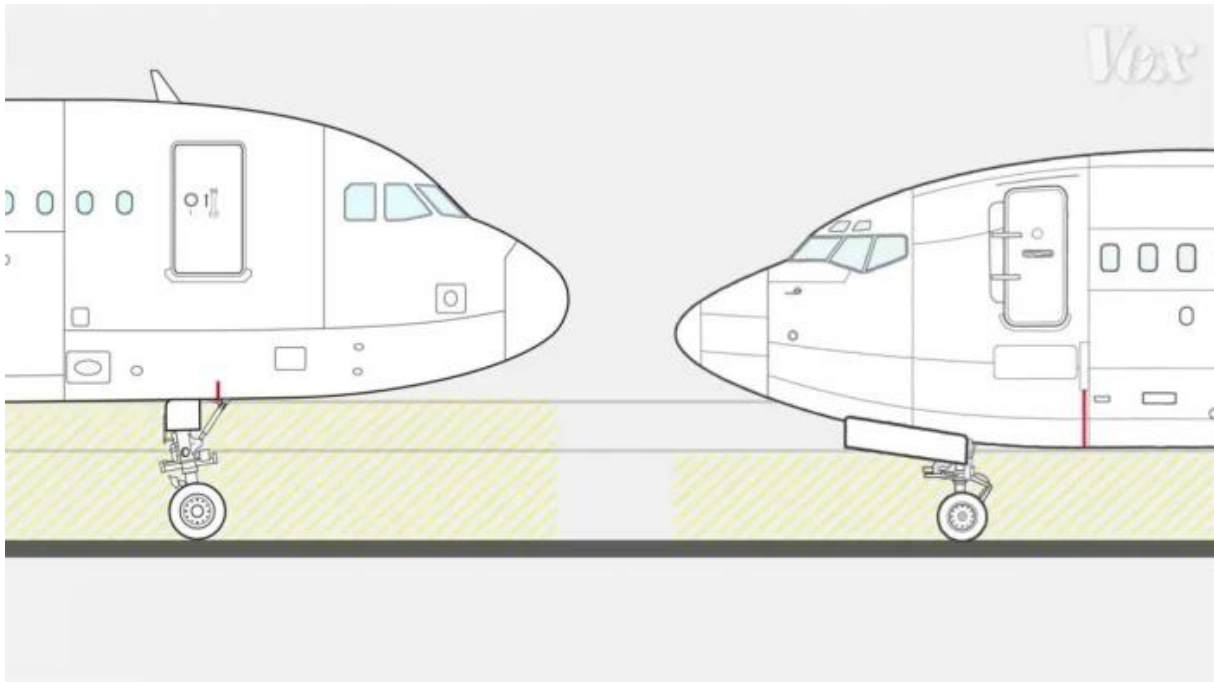
Výhodou horizontálne otvárajúcich sa dverí na lietadle Airbus A320neo je v potrebe menšieho priestoru na ich otvorenie a zatvorenie. Pre tento systém je potrebný kritický priestor 0,61m, zatiaľ čo pri použití výklopného systému na lietadle Boeing 737 MAX-8 je potreba polomeru až 1,07 m na vyklopenie a následne 0,7 m voľného miesta v otvorenej polohe.

6.4 Predná časť lietadla Airbus A320 a Boeing 737

V prednej časti oboch lietadiel je možné spozorovať charakteristické črty oboch lietadiel a aj vďaka tomu ich odlíšiť od seba.

- Prvým rozdielom je nos oboch lietadiel. V prípade lietadla Airbus A320 je predná časť lietadla viac zaoblená než u lietadla Boeing 737. Ako som spomínal už v predchádzajúcej kapitole, nos sa ako prvý stretáva s náporom vzduchu, a preto by mal spĺňať isté aerodynamické vlastnosti, ktoré budú ďalej

kompatibilné so zvyškom trupu lietadla. Samotný systém otvárania a prístupu k radarom uložených v nose lietadla je rovnaký, nos sa otvára smerom hore.



Obr. 6.14 Porovnanie prednej časti Lietadiel Airbus A320 (vľavo) a Boeing 737 (vpravo) [38]

- Druhý rozdiel je možné spozorovať v tvare bočného čelného okna. Znovu Boeing 737 používa tvar do písmena V, zatiaľ čo Airbus využíva len výrez v štvorcovom okne.
- Tretí rozdiel sa nachádza pri prednom podvozku. Airbus A320 má vyšší predný podvozok než Boeing 737.

6.4.1 Kokpit lietadla Airbus A320 a Boeing 737

Začiatok výroby jednotlivých lietadiel taktiež ovplyvňuje konštrukciu a systémy lietadla. Prvý Boeing 737 bol uvedený do prevádzky už v roku 1967 a využíva klasický systém ovládania lietadla pomocou „baranov“. Vzďialenosť medzi pilotom a co-pilotom je menšia než v Airbus-e A320. [40] Airbus A320 bol uvedený do prevádzky až v roku 1987. Rozdiel 20 rokov medzi týmito lietadlami sa podpísal pod jednotlivými filozofiami. Airbus na ovládanie svojho lietadla využíva takzvaný „sidestick“ a uprednostňuje počítač pred človekom. [39] Súčasný modely Airbus A320neo alebo Boeing 737 NG, MAX využívajú digitálne zobrazovacie prvky na zjednodušenie a prehľadnosť jednotlivých informácií počas letu.



Obr. 6.15 Airbus A320neo – kokpit [41]



Obr. 6.16 Boeing 737 MAX-8 – Kokpit [42]

7 Záver

Moja bakalárska práca predstavuje komplexný prehľad a systematické roztriedenie jednotlivých konštrukčných uzlov používaných v trupe veľkých dopravných lietadiel.

Každé lietadlo má svoje primárne využitie. Rozmery, hmotnosť, dolet, efektivita a bezpečnosť sú faktory, ktoré vplyvajú na primárne využitie daného lietadla a jeho konštrukciu. Pri návrhu konštrukcie trupu veľkých dopravných lietadiel sa ustálilo konštrukčné riešenie využívajúce pološkrupinovú konštrukciu. Trup lietadla obsahuje množstvo konštrukčných uzlov, kde patria napríklad okná, dvere, podlahy, nákladný priestor, kabína, kokpit, čelné sklo, uloženie predného podvozku, ukončenie trupu lietadla a mnoho ďalších.

Na lietadlo pôsobia rôzne druhy síl ako je tlak, ťah, ohyb, krut, zotrvačné sily a aj samotný pretlak v kabíne, a preto musia byť jednotlivé konštrukčné uzly navrhnuté tak, aby spĺňali požadované bezpečnostné podmienky stanovené leteckými agentúrami.

V súčasnej dobe sa začína presadzovať využívanie kompozitných materiálov pre ich vhodné vlastnosti, ako je najmä pomer ich hmotnosti voči pevnosti. Kompozitné materiály pozostávajú z uhlíkových alebo sklenených vlákien medzi vrstvou živice.

Najväčšia časť trupu lietadla je kabína, ktorá slúži na prepravu nákladu a cestujúcich. Vyžaduje istý komfort pre cestujúcich ale aj ich bezpečnosť, minimalizáciu hluku, usporiadanie priestoru, ale aj udržanie tlaku v kabíne. V kabíne sa nachádza najväčší počet konštrukčných uzlov ako sú dvere. Rozdeľujeme ich na nástupné a nákladné dvere i núdzové východy. Jednotlivé systémy dvier musia byť pretlakové s pevnou rámovou konštrukciou, s nízkou hmotnosťou a jednoduchou manipuláciou. Okná predstavujú samostatné tri panely, ktoré sú navrhnuté tak, aby odolali silám pôsobiacich na trup lietadla. Sú vyrobené z ťahaného akrylu, ktorý má lepšiu odolnosť a menšiu hmotnosť ako sklo. Podlaha je často prehladovaný prvok trupu lietadla, ktorý však spevňuje samotnú konštrukciu a pridáva aj potrebnú tuhosť. Podlaha v kabíne alebo aj v nákladnom priestore obsahuje veľké množstvo upevňovacích bodov na sedadlá alebo náklad. Lietadlá využívajú viacero typov usporiadania krídiel, no u veľkých dopravných lietadiel sa ustálilo využitie dolnoplošného usporiadania.

Moderné dopravné lietadlá využívajú celouzatvorenú konštrukciu kokpitu, kde sa nachádza množstvo potrebných systémov na ovládanie lietadla. Predná časť trupu lietadla začína nosom, v ktorom sú uložené radary. Nasleduje predel pomocou prednej pretlakovej prepážky, ktorá zaručuje udržanie tlaku v trupe lietadla. Kokpit pozostáva z jednotlivých prepážok, rámu kabíny, čelného okna, priestoru pre predný podvozok a samotnej pilotnej kabíny.

Samotný trup je následne ukončený veľkou pretlakovou prepážkou, ktorá oddeľuje pretlakovú kabínu od chvosta lietadla. Je to komponent, ktorý utesňuje pretlakovú časť lietadla počas letu. Na samotnú kupolu pôsobí veľké zaťaženie, preto je dôležitá jej konštrukcia a upevnenie k trupu lietadla.

Pri porovnávaní jednotlivých konštrukčných riešení som si vybral dva konkurenčné modely lietadiel rovnakej kategórie, ktorými sú Airbus A320neo a Boeing 737 MAX-8.

Získané údaje mi ukázali jednotlivé výhody a nevýhody týchto dvoch lietadiel. V prípade maximálneho počtu cestujúcich je výhodnejší Boeing 737 MAX-8, čo sa odrazilo aj v samotnej dĺžke trupu. Napokon ale v kategórii veľkosti nákladného priestoru je výhodnejší Airbus A320neo a taktiež aj v prípade šírky a výšky trupu lietadla, čo dovoľuje umiestnenie širších sedadiel v kabíne. Lietadlá sa odlišujú aj v systéme otváraní dverí, tvaru čelných okien, výšky predného podvozku, tvaru predného nosu a napríklad aj systémom ovládania lietadiel. Airbus využíva ovládanie pomocou „sidestick-u“ a Boeing používa ovládanie pomocou „baranou“. Obe spoločnosti ponúkajú moderný prístup k riešeniu konštrukčných uzlov. Dbajú na bezpečnosť a pohodlie cestujúcich. Taktiež propagujú snahu o udržateľnosť leteckej dopravy z pohľadu životného prostredia.

Túžba lietať je skoro rovnako stará ako ľudstvo. Letecké odvetvie využíva najmodernejšie technológie pri stavbe lietadiel, a tým kladie značné nároky na ich konštrukciu. Je zložená z veľkého počtu konštrukčných uzlov, a preto lietadlo predstavuje jeden z najnáročnejších dopravných prostriedkov.

Zoznam použitých zdrojov

- [1] NIU, Michael Chun-Yung. *Airframe structural design*. 2nd ed. Hong Kong: Hong Kong Conmilit Press Ltd., 1989. ISBN 962-7148-04-X.
- [2] WOOD, Andrew. Fuselage Structural Design and Layout. *AeroToolbox* [online]. [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://aerotoolbox.com/fuselage-structure/>
- [3] Fixed Wing Aircraft Structures. *Aeronautics Guide* [online]. [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: <https://www.aircraftsystemstech.com/p/fixed-wing-aircraft-fuselage-fuselage.html>
- [4] SMITH, Brett. Materials Used in Aircraft Fuselages. *AZoM* [online]. Buffalo (New York), 01.06.2015 [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=12084>
- [5] WOOD, Andrew. Introduction to Aircraft Structures. *AeroToolbox* [online]. [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: https://aerotoolbox.com/intro-airframe-structure/#Airframe_Design_Philosophies
- [6] SFORZA, P. M. *Commercial airplane design principles* [online]. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2014 [cit. 2022-03-12]. Elsevier aerospace engineering series. ISBN 978-012-4199-538. Dostupné z: https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:kpCADP0002/cid:kt00U8PWF3/viwerType:khtml/root_slug:commercial-airplane-design/url_slug:commercial-aircraft-cabin?&b-toc-cid=kpCADP0002&b-toc-root-slug=commercial-airplane-design&b-toc-title=Commercial%20Airplane%20Design%20Principles&b-toc-url-slug=market-survey-mission&kpromoter=federation&page=1&view=collapsed&zoom=1
- [7] Boeing 737 Dimension. *Sky Lift* [online]. Singapore [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: <http://www.skylift.com.sg/aircraft/boeing-737-dimension/>
- [8] SMITH, John Barry. Cargo Door Explanation. *Planet of Earth* [online]. 22.03.2002 [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: <http://planetofearth.com/cargo-door-explanation-in-p.pdf>
- [9] GARCIA, Marisa. How Airplane Windows Are Designed To Withstand Enormous Stresses, And How They Can Fail. *Forbes* [online]. New York: Forbes, 19.05.2018 [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/marisagarcia/2018/05/19/airplane-windows-can-cope-with-more-stress-than-you-think-expert-explains/?sh=7818fb9a149f>
- [10] Cabin windows and cockpit windshields. *Sapienza Universita di Roma* [online]. Roma [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: http://www.ingaero.uniroma1.it/attachments/2176_Ex_4%20Cabin%20and%20cockpit%20windows.pdf
- [11] The Importance of Aircraft Floor Panels. *Comtek* [online]. Burlington (Ontario) [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://www.comtekadvanced.com/the-importance-of-aircraft-floor-panels>

- [12] REN, Yiru a Jinwu XIANG. Crashworthiness uncertainty analysis of typical civil aircraft based on Box–Behnken method. *Chinese Journal of Aeronautics* [online]. Beijing: School of Aeronautic Science and Engineering, 2014, 02.05.2014, **2014**(27), 550-557 [cit. 2022-03-23]. ISSN 1000-9361. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/262054349_Crashworthiness_Uncertainty_Analysis_of_Typical_Civil_Aircraft_Based_on_Box-Behnken_Method
- [13] How Are Airplanes Wings Attached to the Fuselage?. *High sky flying* [online]. [cit. 2022-03-25]. Dostupné z: <https://www.highskyflying.com/how-are-airplane-wings-attached-to-the-fuselage/>
- [14] KOUBEK, Ryan a Mike MALOY. Aircraft Galley, Lavatory, and Water Systems. *Slide Server* [online]. 14.09.2006 [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://www.slideserve.com/hiroshi/aircraft-galley-lavatory-and-water-systems>
- [15] MATTOS, Bento, Ramon PAPA a Luis Carlos SANTOS. Considerations About Forward Fuselage Aerodynamic Design of a Transport Aircraft. *42nd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit* [online]. Reston (Virigina): American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2004, 2004-01-05, - [cit. 2022-04-03]. ISBN 978-1-62410-078-9. Dostupné z: <https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2004-1241>
- [16] Why are there vortex generators under Boeing 737's cockpit windows. In: *Stack Exchange* [online]. 03.11.2016 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://aviation.stackexchange.com/questions/32915/why-are-there-vortex-generators-under-the-boeing-737s-cockpit-windows>
- [17] SMITH, Brett. Aircraft Nose Cone Construction and Maintenance. *AZoM* [online]. Buffalo (New York), 05.06.2015 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=12107>
- [18] Learn more about cockpit: history, how it works and evolution. *Thales* [online]. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://www.thalesgroup.com/en/global/activities/aerospace/flight-deck-avionics-equipment-functions/flight-deck/learn-more-about>
- [19] MARQUET, Gilles, Vincent SIBELLE a Maurice GARNIER. Are You Properly Seated. *Safety First Airbus* [online]. Blagnac: Airbus, 2018, 2018 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://safetyfirst.airbus.com/are-you-properly-seated/>
- [20] BELTYUKOV, Alex. Boeing 737-8ZS - Oneworld S7. In: *Airliners* [online]. Moscow, 2011, 27.05.2011 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://www.airliners.net/photo/Oneworld-S7-Siberia-Airlines/Boeing-737-8ZS/1930644>
- [21] Cockpit door. *Digivideofestmenyek* [online]. Budapest [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <http://en.digivideofestmenyek.com/hobby/aviation/aviation-dictionary/c-e>

- [22] Flight crew compartment door. *Flight Deck 737* [online]. [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <http://www.flightdeck737.be/en/hardware/platform/cockpitdoor/omschrijving-en-werking>
- [23] MIDDLETON, Geoff. Airplane General - Flight Deck Door. *TCX Boeing 757-200/300* [online]. 2002 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: http://hibdz.skydiving.co.uk/757/757_tech/airplane_general/flight_deck_door.htm#top
- [24] KUNDU, Ajoy Kumar. *Aircraft design* [online]. New York: Cambridge University Press, 2010 [cit. 2022-04-16]. Cambridge aerospace series. ISBN 978-052-1885-164. Dostupné z: <https://studfile.net/preview/4372982/>
- [25] ROGERS, J. Byron. Aircraft Structural Considerations. *Slide Player* [online]. Pennsylvánia, 17.04.2017 [cit. 2022-04-16]. Dostupné z: <https://slideplayer.com/slide/5342917/>
- [26] CHEN, S., O. P. L. MCGREGOR, A. ENDRUWEIT, L. T. HARPER a N. A. WARRIOR. Simulation of the forming process for curved composite sandwich panels. *International Journal of Material Forming* [online]. 2019, 10.12.2019, **13**(6), 967-980 [cit. 2022-04-17]. ISSN 1960-6206. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s12289-019-01520-4>
- [27] How Wings Are Attached To The Planes. *Havkar* [online]. Istanbul [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: <http://havkar.com/en/blog/view/how-wings-are-attached-to-the-planes-/84>
- [28] ZEEUW, Thomas de. What is hidden in the nose of an aircraft. *KLM Blog* [online]. Haarlemmermeer: KLM, 2020, 18.02.2020 [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: <https://blog.klm.com/hidden-nose-aircraft/>
- [29] K., Brandon. The New B737 Cockpit: Explained. *Infinite Flight* [online]. USA, 2020 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://community.infiniteflight.com/t/the-new-b737-cockpit-explained/447038>
- [30] GUERING, Bernard. Storage compartment for the nose gear of an aircraft. *Google Patents* [online]. Canada: Airbus, 2007, 28.06.2007 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/CA2657337A1/en>
- [31] Basic Aircraft Structures. In: *Blue Tuna Docs* [online]. [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://bluetunadocs.com/downloads/acsguide.pdf>
- [32] MARSH, Alex. What is the Purpose of the Bulkhead in an Aircraft. *Jet Parts 360 Blog* [online]. 2021, 8.11.2021 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.jetparts360.com/blog/what-is-the-purpose-of-the-bulkhead-in-an-aircraft/>

- [33] SHERONFRD, Dan. Rear Pressure Bulkhead. In: *AeroPeep* [online]. 05.08.2021 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://aeropeep.com/rear-pressure-bulkhead/>
- [34] Boeing 737 Nose Wheel Well. In: *Deviant Art* [online]. USA, 2014, 02.05.2014 [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://www.deviantart.com/indeepschit/art/Boeing-737-Nose-Wheel-Well-451383926>
- [35] Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning: Airbus A320. *Airbus* [online]. Blagnac: Airbus, 2022, 01.03.2022 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: https://www.airbus.com/sites/g/files/jlcbta136/files/2022-02/Airbus-techdata-AC_A320_0322.pdf
- [36] 737 MAX Airplane Characteristics for Airport Planning. *Boeing* [online]. Chicago: Boeing Commercial Airplanes, 2021, 02.2021 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: https://www.boeing.com/commercial/airports/plan_manuals.page
- [37] Cabin and Comfort: Passenger Aircraft. *Airbus* [online]. Blagnac: Airbus [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://www.airbus.com/en/products-services/commercial-aircraft/cabin-and-comfort>
- [38] MADKAIKER, Nihar. Planes and Product Management: What doomed the Boeing 737 MAX. *Nihar Madkaiker* [online]. 2020, 10.05.2020 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://niharmadkaiker.com/2020/05/10/the-boeing-737-max/>
- [39] Fly-by-wire (1980-1987): Commercial aircraft history. *Airbus* [online]. Blagnac: Airbus [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.airbus.com/en/who-we-are/our-history/commercial-aircraft-history/fly-by-wire-1980-1987>
- [40] Boeing Chronology. *Boeing* [online]. Chicago: Boeing, 2021 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.boeing.com/history/>
- [41] GOUSSE, H. A320 - 360 cockpit view. *Airbus* [online]. Blagnac: Airbus, 2014, 2014 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: https://ccntservice.airbus.com/apps/cockpits/a320/?_ga=2.245922180.1697787185.1633938490-1881885065.1633679760
- [42] Aerolíneas Argentinas recibirá los primeros Boeing 737MAX 8 de América Latina. In: *HangarX* [online]. Argentina: HangarX, 2016, 19.12.2016 [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://www.hangarx.com.ar/2016/12/aerolineas-argentinas-recibira-los-primeros-737max-america-latina/>
- [43] Protecting Aircraft and Passengers from Cargo Fires. *Safety First Airbus* [online]. Blagnac: Airbus, 2018, 01.2018 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://safetyfirst.airbus.com/protecting-aircraft-and-passengers-from-cargo-fires/>

Zoznam obrázkov

Obr. 2.1	Ideálny tvar pretlakovej nádoby	7
Obr. 2.2	Vplyv rozloženia sedadiel na priemer lietadla	7
Obr. 2.3	Upravená pretlaková nádoba z pohľadu aerodynamiky	8
Obr. 2.4	Základné výrezy v trupe lietadla pre cestujúcich	8
Obr. 2.5	Finálny tvar trupu lietadla	8
Obr. 2.6	Základné sily pôsobiace na lietadlo	9
Obr. 2.7	Priehradková konštrukcia trupu lietadla	10
Obr. 2.8	Škrupinová konštrukcia trupu lietadla	10
Obr. 2.9	Pološkrupinová konštrukcia trupu lietadla	11
Obr. 2.10	Kompozitný sendvičový panel	13
Obr. 3.1	Schematické zobrazenie kabíny lietadla	14
Obr. 3.2	Schéma rozloženia dverí v lietadle L-1011	15
Obr. 3.3	Plug-type konštrukcia dverí B737	16
Obr. 3.4	Swing opening door	17
Obr. 3.5	Vertikálne posúvajúce sa dvere	18
Obr. 3.6	Horizontálne otvárajúce sa dvere Airbus A320	19
Obr. 3.7	Tapered door opening	19
Obr. 3.8	Konštrukcia nákladných dverí	20
Obr. 3.9	Rozloženie nákladných dverí v Boeing-u 737-300	20
Obr. 3.10	Typy otvárania nákladných dverí	21
Obr. 3.11	Zdvojený okenný pás	23
Obr. 3.12	Schéma okna v kabíne lietadla	24
Obr. 3.13	Podlahové nosníky lietadla	25
Obr. 3.14	Uchytenie podlahy	26
Obr. 3.15	Zaťaženie podlahových nosníkov ťahom	26
Obr. 3.16	Zaťaženie podlahových panelov šmykom	26
Obr. 3.17	Nákladný priestor lietadla	28
Obr. 3.18	Nákladný kontajner pre lietadlá	28
Obr. 3.19	Vertikálne uloženie krídel voči trupu lietadla	29
Obr. 3.20	Konštrukcia časti krídlo-trup	30
Obr. 3.21	Uchytenie krídla k trupu lietadla	30
Obr. 3.22	Výmena vzduchu v kabíne	31
Obr. 3.23	Systém na výmenu vzduchu v kabíne	31
Obr. 3.24	Typické rozmery kuchynky a toalety v lietadle	32
Obr. 4.1	Konštrukcia prednej časti lietadla	33
Obr. 4.2	Otvorený predný kužel lietadla Airbus A330-300	34
Obr. 4.3	Radome	34
Obr. 4.4	Predná časť trupu lietadla	35
Obr. 4.5	Typické správanie sa prúdu vzduchu na prednej časti lietadla	35
Obr. 4.6	Generátor výrov Boeing-u 737	36
Obr. 4.7	Konštrukcia typického bezpečnostného skla	37
Obr. 4.8	Správna poloha hlavy pilota lietadla	39
Obr. 4.9	Optimálny výhľad z kokpitu	39
Obr. 4.10	Indikátor správnej polohy očí pilota	39
Obr. 4.11	Kokpit lietadla Boeing 737-800	40
Obr. 4.12	Vstupné dvere do kokpitu	42
Obr. 4.13	Predná časť trupu lietadla	42
Obr. 4.14	Predný podvozok lietadla Boeing 737-800	43
Obr. 5.1	Zadná pretlaková prepážka	44

Obr. 5.2	Pretlaková prepážka tvaru	45
Obr. 5.3	Konštrukcia zadnej pretlakovej prepážky v tvare kupoly	46
Obr. 6.1	Airbus A320neo – rozmery trupu 1	48
Obr. 6.2	Airbus A320neo – rozmery trupu 2	49
Obr. 6.3	Boeing 737 MAX-8 – rozmery	50
Obr. 6.4	Airbus A320neo – kombinácia prevej triedy a ekonomickej	51
Obr. 6.5	Airbus A320neo – rozloženie ekonomickej triedy	51
Obr. 6.6	Airbus A320neo – usporiadanie interiéru ekonomickej triedy	51
Obr. 6.7	Boeing 737 MAX-8 – kombinácia biznis triedy a ekonomickej	52
Obr. 6.8	Boeing 737 MAX-8 – rozloženie ekonomickej triedy	52
Obr. 6.9	Boeing 737 MAX-8 – usporiadanie interiéru ekonomickej triedy	52
Obr. 6.10	Otváranie nákladných dverí u lietadla Boeing 737 MAX-8	53
Obr. 6.11	Otváranie nákladných dverí u lietadla Airbus A320neo	54
Obr. 6.12	Otváranie nástupných dverí u lietadla Airbus A320neo	54
Obr. 6.13	Otváranie nástupných dverí u lietadla Boeing 737 MAX-8	55
Obr. 6.14	Porovnanie prednej časti lietadiel Airbus A320 a Boeing 737	56
Obr. 6.15	Airbus A320neo – kokpit	57
Obr. 6.16	Boeing 737 MAX-8 – kokpit	57

Zoznam tabuliek

Tab. 3.1	Maximálny počet sedadiel cestujúcich pre každý typ východu	22
Tab. 3.2	Rozmery bežne používaných nákladných kontajnerov v lietadlách	28
Tab. 6.1	Počet sedadiel pre cestujúcich v lietadle Airbus A320neo	47
Tab. 6.2	Počet sedadiel pre cestujúcich v lietadle Boeing 737 MAX-8	48
Tab. 6.3	Hlavné rozmery trupu lietadiel	48
Tab. 6.4	Veľkosť spodného nákladného priestoru v lietadle Airbus A320neo a Boeing 737 MAX-8	53

Zoznam príloh

- A Prezentácia pre výukové účely: Konštrukčné prvky a časti trupu veľkého dopravného lietadla a ich prevedenie.