



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

**USPOŘÁDÁNÍ KŘÍDEL NA LETOUNECH KATEGORIE
VŠEOBECNÉHO POUŽITÍ**

ARRANGEMENT OF WINGS ON GENERAL AVIATION AIRCRAFT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Filip Polák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Antonín Píštěk, CSc.

BRNO 2020

Zadaní bakalářské práce

Ústav: Letecký ústav
Student: **Filip Polák**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **prof. Ing. Antonín Píštěk, CSc.**
Akademický rok: 2019/20

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:

Uspořádání křidel na letounech kategorie všeobecného použití

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě rešeršních a statistických rozborů zhodnotit jednotlivé koncepce uspořádání křidel pro kategorii letounů všeobecného použití (GA), letounů kategorie UL.

Vypracovat schemata uspořádání, vypracovat konstrukční popis s hodnocením jednotlivých koncepcí z hlediska

- aerodynamiky a výkonů,
- pevnosti a hmotnostní efektivity,
- provozních vlastností.

Cíle bakalářské práce:

Vypracovat bakalářskou práci v obvyklém rozsahu obsahující přehled koncepcí uspořádání křídla na letounu, popis výhod a nevýhod jednotlivých řešení a případně navrhnout doporučení pro návrh koncepce z pohledu aerodynamik, konstrukce a provozu.

Seznam doporučené literatury:

Jane's : All the World's Aircraft (všech vydání).
MIKULA, J.: Konstrukce a projektování letadel, ČVUT, 2004.
NIU, M.C.Y.: Airframe Structural design, 2nd ed. Hong Kong: Hong Kong Conmilit Press Ltd. ISBN 962-7128-09-0

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019 / 20.

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.

ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakulty

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do práv autorských práv osobnostních a musí být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č.121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb

ABSTRAKT

Bakalárska práca sa zaoberá možnosťami vertikálneho usporiadania nosných plôch lietadiel, ako aj vplyvom voľby, ich usporiadania na aerodynamické, letové a prevádzkové vlastnosti lietadiel. Cieľom je poukázať na rozdiely medzi technickými riešeniami, konštrukčnými a prevádzkovými požiadavkami na jednotlivé druhy lietadiel s rôznou koncepciou usporiadania nosných plôch. Záverom tejto práce sú poznatky o výhodách a nevýhodách rôznych koncepcií lietadiel, ako aj príklady ich použitia v závislosti od konštrukčného prevedenia.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vertikálne umiestnenie krídel; dolnoplošník, stredoplošník a hornoplošník; nosné plochy lietadla;

ABSTRACT

This bachelors thesis deals with the possibilities of vertical arrangement of aircrafts bearing surfaces, as well as the effect of the choice of their arrangement on aerodynamic, flight and operational characteristics of aircrafts. The aim is to point out the differences between technical solutions, structural and operational requirements for different types of aircrafts with different conception of arrangement of bearing surfaces. The conclusion of this work is the knowledge of the advantages and disadvantages of different concepts of aircrafts as well as examples of their use depending on the structural presentation.

KEY WORDS

Vertical arrangement of wings; low-wing aircraft, mid-wing aircraft, high-wing aircraft; aircrafts bearing surfaces;

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

POLÁK, Filip.: *Uspořádání křídel na letounech kategorie všeobecného použití* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/123756>.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce Antonín Pištěk.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Uspořádání křidel na letounech kategorie všeobecného použití* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Rád by som sa poďakoval môjmu vedúcemu bakalárskej práce, pánovi prof. Ing. Antonínovi Píšťkovi a pánovi Ing. Jozefovi Timkovi za cenné rady a odbornú pomoc, ktorú mi poskytlí počas vypracovávania mojej bakalárskej práce.

Obsah

STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA PROBLEMATIKY ÚKOLU:	2
CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:	2
SEZNAM DOPORUČENÉ LITERATURY:	3
ÚVOD	9
1 HISTORICKÝ VÝVIN LIETADIEL	10
2 ZAŤAŽENIE PÔSOBIACE NA NOSNÚ SÚSTAVU LIETADLA	11
2.1 AERODYNAMICKÉ SILY	11
2.2 VEĽKOSŤ ZAŤAŽUJÚCICH SÍL OD HNACEJ SÚSTAVY	11
2.3 ZAŤAŽENIA VZNIKAJÚCE PRI ŠTARTE, PRISTÁVANÍ A POHYBE LIETADLA PO ZEMI	11
2.4 ZAŤAŽENIE VLASTNOU TIAŽOU KONŠTRUKCIE	11
2.5 ZAŤAŽENIE TEPELNÝM OHREVOM	11
3 KRÍDLA	12
3.1 PÔDORYSNÝ TVAR KRÍDLA	13
4 VERTIKÁLNE UMIESTNENIE KRÍDLA	15
4.1 ROZDELENIE PODĽA POČTU NOSNÝCH PLÔCH LIETADIEL	15
4.2 ROZDELENIE LIETADIEL PODĽA VÝŠKOVEJ POLOHY KRÍDLA	15
4.2.1 <i>Hornoplošník, dolnoplošník a strednoplošník</i>	16
5 DOLNOPLOŠNÍK	18
5.1 DOLNOPLOŠNÍK – AERODYNAMIKA	18
5.2 DOLNOPLOŠNÍK – KONŠTRUKCIA	19
5.3 DOLNOPLOŠNÍK – PREVÁDZKA	21
6 HORNOPLOŠNÍK	22
6.1 HORNOPLOŠNÍK – AERODYNAMIKA	22
6.2 HORNOPLOŠNÍK – KONŠTRUKCIA	23
6.3 HORNOPLOŠNÍK – PREVÁDZKA	26
7 STREDOPLOŠNÍK	28
7.1 STREDOPLOŠNÍK AERODYNAMIKA	28
7.2 STREDOPLOŠNÍK – KONŠTRUKCIA	28
7.3 STREDOPLOŠNÍK – PREVÁDZKA	29
8 ZHRNUTIE	30
9 ZÁVER	31
10 ZDROJE	32
ZOZNAM OBRÁZKOV	33
OBRÁZKOVÁ PRÍLOHA	34

Úvod

Ľudia už od svojho počiatku túžili lietať, snažili sa napodobniť vtáčí let. Touto myšlienkou sa zaoberal nielen Architas so svojou umelou holubicou, ale aj známy maliar Leonardo da Vinci svojimi nákresmi, či mnohí ďalší. Odveká túžba pokoriť oblohu a láska k lietajúcim strojom viedla mnohých k zostrojeniu lietadla. Či lietadlo vzlietne závisí od mnohých hľadísk, medzi ktoré patrí usporiadanie krídel, čo je témou mojej práce.

Cieľom mojej práce je poukázať na rozdiely medzi technickými riešeniami, konštrukčnými a prevádzkovými požiadavkami na jednotlivé druhy lietadiel s rôznou koncepciou usporiadania nosných plôch. Vývoj leteckej techniky smeruje k neustálemu hľadaniu riešenia konštrukcie lietadiel vyhovujúcich po stránke technickej, dizajnu, ktoré v krátkosti popisujem v prvej kapitole. Na aerodynamické a konštrukčné vlastnosti lietadla má veľký vplyv tvar krídla a jeho zaťažovanie rôznymi silami čomu venujem pozornosť v druhej a tretej kapitole. V štvrtej kapitole sa venujeme usporiadaniu krídel na trupe lietadla v pozdĺžnej rovine a celá piata kapitola je zameraná na opis jednotlivých typov lietadiel z hľadiska vertikálneho umiestnenia krídla vzhľadom k trupu. Zameriavam sa na hodnotenie jednotlivých koncepcií lietadiel z hľadiska aerodynamiky, konštrukcie, a prevádzky a uvádzam príklady ich použitia. Poukazujem na výhody a nevýhody hornoplošníka, dolnoplošníka a stredoplošníka. V závere práce sú zhrnuté poznatky výhod a nevýhod rôznych koncepcií lietadiel v závislosti od konštrukčného prevedenia.

1 Historický vývin lietadiel

Žijeme v čase prevratného technického rozvoja. Spolu so základnou požiadavkou zabezpečiť najväčšiu mieru bezpečnosti v doprave, v letectve, sú dôležité aj ďalšie faktory, ktoré majú vplyv na kvalitu služieb, najmä dopravného letectva (okrem iného pravidelnosť a ekonomiku prevádzky lietadiel). Vývoj leteckej techniky smeruje k stále dokonalejším a spoľahlivejším lietadlám. A to vedie k ich stále väčšej zložitosti (Tůma, 1981).

V priekopníckom období civilného letectva mal konštruktér lietadiel len veľmi obmedzený výber. K dispozícii bola prakticky iba jedna kategória pohonnej jednotky a to vzduchom chladený piestový motor, ktorý poskytoval veľmi obmedzený výkon. Buď neexistovali žiadne aerodynamické prostriedky pre zvýšenie vztlaku na kridle pri nízkych rýchlostiach, alebo tie čo existovali, boli z rôznych dôvodov používané len zriedkavo, čo malo za následok, že plošné zaťaženie kridla sa pohybovalo na malých hodnotách. Konštruktéri používali koncepciu dvojplôšníka pre zvýšenie vztlaku pri malých rýchlostiach, ale vďaka veľkým nežiaducim odporom sa nedalo využiť tento koncept pri vyšších rýchlostiach. Let bol zriedka realizovaný vo výškach nad 3000 metrov, pretože neexistovali žiadne pretlakové kabíny. Počas tohto obdobia bol návrh lietadla vo všeobecnosti prácou len jedného alebo malej skupiny dizajnérov. V každom závode bol rozsah vývojových prác pre každý nový typ obmedzený. V dvadsiatych rokoch 20. storočia bolo možné pre zákazníka do pol roka navrhnuť a vyrobiť nové lietadlo. Jedným z dôvodov bolo, že tieto série boli relatívne malé. Týmto pádom Anthony Fokker a jeho zamestnanci v období rokov 1918 - 1936 mohli navrhnuť a stavať štrnásť úplne odlišných komerčných lietadiel. Od druhej svetovej vojny prešla konštrukcia lietadiel radikálnou zmenou. Začal sa vývoj prúdového motora a následne dvojprúdového, ktorý zvýšil dodávajúci ťah, čo výrazne rozšírilo výber pohonných jednotiek. Umožnilo to transportným lietadlám lietať vo výškach 9 000 až 12 000 metrov, rýchlosťou blížiacou sa k rýchlosti zvuku. Rýchlosti vzletu a pristátia veľkých lietadiel sa samozrejme neustále zvyšovali a tým pádom sa aj vzletové a pristávacie dráhy predlžovali. Letecká doprava sa začala rozrastať. V období od roku 1950 do roku 1970 dosiahol priemerný ročný nárast osôb na jednu míľu o 14% a taktiež vzrástla aj preprava nákladu pomocou lietadiel. Okrem toho musia moderné lietadlá vyhovovať stále rastúcemu počtu "prísnych bezpečnostných predpisov". Vyhovieť ekonomickým požiadavkám zákazníka je stále náročnejšie a to vedie k tomu, že vývoj a konštrukcia nových typov lietadiel vyžadujú veľmi vysoké kapitálové výdavky, ktoré znamenajú značné finančné riziko. Letecký priemysel v dnešnej dobe vyrobí nový typ lietadla zhruba za 12 rokov. Boeing a McDonnell Douglas sú schopní za rovnakú dobu predstaviť iba jedno alebo dve nové koncepcie. Nové projekty kvôli svojej veľkosti a dodacej dobe, či riziku, viedli firmy ku spolupráci. Napríklad v Európe začali vznikať spoločné medzinárodné podniky (Trebichavský, 1981).

V dnešnej dobe, pri vývoji lietadla, spolupracuje niekoľko desiatok až stoviek vysoko vyškolených technikov a technikov výpočtovej techniky. Títo technici využívajú pri vývoji nových lietadiel niekoľko konceptov, ktoré vyskúšajú v aerodynamickom tuneli už predtým, ako sa pustia do stavby samotného lietadla. Do fázy projektovania je teraz venovaného viac času a práca v konštrukčnom oddelení sa vyvinula do profesionálneho povolania realizovaného v tímoch, s pravidelnými konzultáciami medzi odborníkmi z rôznych odvetví.

2 Zatřazení působící na nosnou soustavu letadla

Křídla letadla sú zatřazované různými silami: aerodynamickými, od hnacej skupiny, reakcia zeme (alebo vodnej hladiny), pri pohybe letadla po zemi, hmotnostnými, zotrvačnými silami pri manévrování letadla za letu a inými podružnými silami, ktoré majú lokálne významy (balistického pôvodu, od podopretia pri opravách). U veľmi rýchlych lietadiel ide taktiež o zatřazenie aerodynamickým ohrevom konštrukcie.

2.1 Aerodynamické sily

Vznikajú pri pohybe telesa v hmotnom prostredí. Predstavujú prevládajúcu časť zatřazení křídíel bežného letadla. Veľkosť zatřazení nosnej sústavy, od vzdušných síl, je určená predpismi pre stavbu lietadiel. Pre návrh konštrukcie je nutné stanoviť rozloženie vzdušných síl po rozpätí a hĺbke křídla (Keller, 2011).

2.2 Veľkosť zatřazujúcich síl od hnacej sústavy

Podľa Kellera (2011) je veľkosť zatřazujúcich síl od hnacej sily daná ťahom hnacej jednotky, gyroskopickým momentom a u vrtuľových hnacích jednotiek taktiež reakčným momentom od vrtule. Tento druh zatřazení býva závažným pre namáhanie motorových lôžok.

2.3 Zatřazení vznikajúce pri štarte, pristávaní a pohybe letadla po zemi

Súhlasím s názorom Tůmu (1981), že sú veľmi dôležité pri navrhovaní podvozkovej sústavy a pre prvky nesúce podvozky (křídlo, trup). Jedná sa o premenlivé namáhania, vyvolané silami, vznikajúcimi pri rolovaní, vzlete a pristátí letadla.

2.4 Zatřazenie vlastnou tiažou konštrukcie

Býva samo o sebe obvykle, pre jej namáhanie málo dôležité, vzhľadom k ostatným druhom zatřazení. Zvyčajne sa určuje spoločne so zotrvačnými silami pod pojmom hmotové sily. Je rozdielne pre prípady rovnomerných, ustálených pohybov, ako aj pre prípady letu so zrýchlením, pri manévrování letadla za letu. Pri rovnomernom ustálenom lete pôsobia na nosnú sústavu iba hmotnosti vlastnej nosnej sústavy a komponentov, vnútri alebo mimo. V prípade zrýchlených pohybov vznikajú ešte zotrvačné sily, ktoré sú podľa D'Alambertovho princípu v rovnováhe so silami ostatnými (Hoerner, 1965).

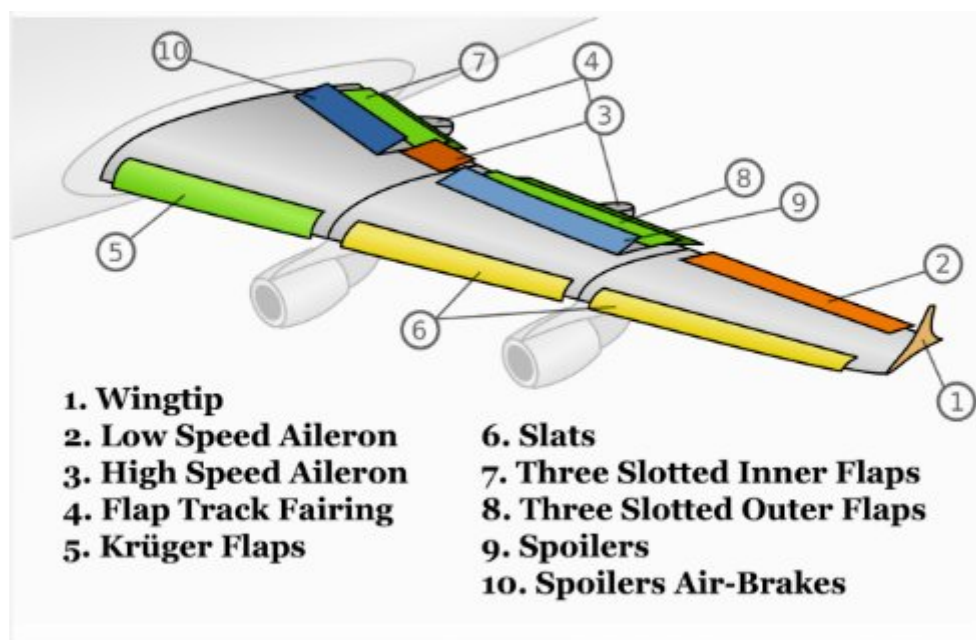
2.5 Zatřazenie tepelným ohrevom

Míkula (2004) opisuje ich vznik vplyvom napätia, ako dôsledok nerovnomerného aerodynamického ohrevu konštrukcie křídla pri lete vysokými rýchlosťami.

3 Křídla

Mezi nejdůležitější charakteristiky křídla vůči trupu podle Kellera (2011) patří poloha (u dopravních letadel většinou dolnoplošníky, vzácněji u turbovrtulových hornoplošníky), podrysný tvar (šípové, přímé nebo lichobežníkové), rozpětí, úhel šípů, úhel vzopětí, štíhlost, zúžení a skrútení (Keller, 2011).

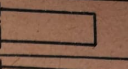
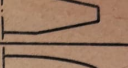
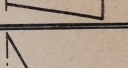
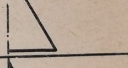
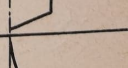
Profil křídla je navrhnutý tak, aby podle principu Bernoulliho rovnice vznikl vztlak (navrchu podtlak, dole pretlak). Tento vztlak lze regulovat pomocí takzvané mechanizace křídla, což je soustava pohyblivých prvků, které jsou ovládané buď pilotem nebo automaticky. Na náběžné hraně obr. 1 je to soustava slotů, která díky možnosti vysunutí při vyšším úhlu nábehu zabrání odtrhnutí proudnic (vzduch ze spodní strany křídla proudí vzniknutou mezerou na hornou stranu křídla). Vztlakové klapky na odtokové hraně jsou hlavním prvkem upravujícím vztlak. Mohou se vysouvat do více poloh, čím se zvětší plocha křídla a tím i vztlak. Dále od trupu jsou umístěny křídélka, které jsou spolu se směrovým kormidlem nezbytné pro směrové řízení a zachování stability při náklonu. Spojlery (na spodní straně křídla interceptory) slouží k rušení vztlaku. Používají se jako orgány příčného řízení samostatně nebo s křídélkami a v fázi přistání na přistávací ploše jako rušiče vztlaku pro zvýšení účinnosti brzdění.



Obr. 1 Části křídla Zdroj: <https://commons.wikimedia.org>

3.1 Pôdorysný tvar krídla

Podľa tvrdenia Tůmu (1981) má tvar krídla značný vplyv na konštrukčné a aerodynamické charakteristiky lietadla, to je na hmotnosť krídla a veľkosť indukovaného odporu. Rozličné pôdorysné tvary krídel pre podzvukovú transsonickú a na nadzvukovú oblasť sú na obr. 2. Pre podzvukové lietadlá sa používa pôdorysný tvar obdĺžnikový, lichobežníkový a ich kombinácie a elipsovité tvar. S rastúcim číslom Machovho čísla (Ma) sa používajú tvary: šípový, lichobežníkový bez šípu s malou štíhlosťou, trojuholníkový a iné špeciálne tvary. Medzi osobitné typy krídel patria krídla s meniteľnou geometriou, preklopné krídla a prstencové krídla. V publikácii spomínaného autora Tůmu (1981) nájdeme nasledovné delenie krídel:

podzvuková oblasť	1	priame	
	2	lichobežníkové	
	3	lichobežníkové s obdĺžnikovým centrolánom	
	4	eliptické	
transsonická (okolozvuková) oblasť	5	šípové (kladný šíp)	
	6	šípové (záporný šíp)	
	7	šípové s plynule premennou šípovitostou	
	8	šípové so zubom	
nadzvuková oblasť	9	trojuholníkové (delta)	
	10	trojuholníkové skosené	
	11	priame s malou štíhlosťou	
	12	špeciálne	

Obr. 2 Pôdorysové tvary krídel Zdroj: Tůma (1981)

1) Obdĺžnikové krídlo

Je výhodné z aerodynamického hľadiska, vzhľadom na vhodnú polohu začiatku odtrhávania prúdu. Po preťažení sa prúd začne odtrhávať pri trupe. Nie je tým znížená účinnosť krídeliek. Nevýhodou je väčšia hmotnosť a väčší indukovaný odpor. Výrobne je veľmi jednoduché, najmä vtedy, keď sa použije po celom rozpätí rovnaký profil. Používa sa hlavne pri jednoplošníkoch, s krídlom závesným nad trupom. Pre rýchle lietadlá je nevhodné.

2) Lichobežníkové křídlo

Je najrozšířenějším typem křídla v podzvukové oblasti. Má malý indukovaný odpor a při vhodné volbě profilů se mohou dosáhnout dobré vlastnosti vzhledem na odtrhávání proudu po přetážení. Indukovaný odpor lichobežníkového křídla je jen o málo větší než při eliptických křídlech. Hmotnostně je poměrně výhodné a při výrobě nespôsobuje ťažkosti. Používá se pro všechny kategorie letadel (dolnoplošníky, stredoplošníky a hornoplošníky) (Tůma, 1981).

Autor popisuje, že kombinace obdlžnik-lichobežnik sa uplatňujú napr. pri dvojmotorových lietadlách s motormi na křídlech. Centroplán je obdlžnikový a vonkajšie křídla má lichobežníkové.

3) Eliptické křídlo

Eliptické křídlo má najmenší indukovaný odpor. Pre jeho konštrukčnú a výrobnú zložitost sa málo používa.

4) Šípové křídlo

Používá sa pri rýchlych podzvukových alebo nadzvukových lietadlách. Výhodná oblasť použitia je od $Ma=0,6$ do $Ma=1,3$ ale sú lietadlá so šípovým křídлом lietajúce v oblasti nad $Ma=2$. So vzrastajúcou rýchlosťou rastie uhol šípu a klesá hrúbka profilov. Účelom použitia šípu pre křídla a chvostové plochy je zvýšenie kritického Machovho čísla (Ma), čím sa odsúva vznik rázových vln na křídle do oblasti väčších rýchlostí.

5) Trojuholníkové křídlo

Nemusí mať vodorovné chvostové plochy, ich funkciu plnia vnútorné časti odtokových hrán, alebo môžu spoločne pôsobiť výškovka a křidelká (elevony).

6) Priame křídlo

S malou hrúbkou a malou štíhlosťou je vhodné pre oblasť veľkých nadzvukových rýchlostí. V transsonickej oblasti je nevýhodné pre prudšie zmeny súčiniteľov aerodynamických síl a momentov. Stavebné a konštrukčné ťažkosti sú zmierené malou štíhlosťou (2 až 4), ale malá hrúbka profilov neumožňuje využiť priestor v křídle na umožnenie paliva alebo pristávacieho zariadenia.

4 Vertikálne umiestnenie krídla

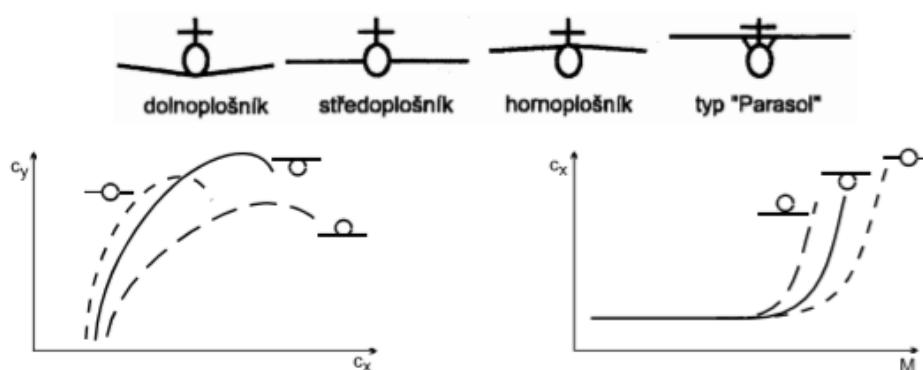
V nasledujúcej kapitole sa venujeme usporiadaniu krídla na trupe lietadla v pozdĺžnej rovine, poukazujeme na ich výhody či nevýhody. Lietadlá môžeme deliť podľa rôznych hľadísk. Z koncepčného hľadiska uvádzame nasledujúce delenie.

4.1 Rozdelenie podľa počtu nosných plôch lietadiel

- Jednoplošníky* majú jednu nosnú plochu. Tento typ lietadiel je v súčasnosti najrozšírenejším.
- Dvoj plošníky* (add.1) majú nad sebou dve nosné plochy podobného rozpätia. Dnes sa s ním stretneme iba ojedinele, a to u športových alebo akrobatických lietadiel, prípadne historických lietadiel. Pri moderných ULL sa už prakticky nepoužíva. Možno ju medzi ULL nájsť skôr u amatérsky stavaných lietadlách, najmä replík historických predlôh. Pre výkonné ULL nie je táto konštrukcia vhodná. Dôvodom je to, že krídla sa vzájomne ovplyvňujú a tak dosahujú menšieho súčiniteľa vztlaku. Preto musí mať väčšiu plochu a s tým je spojený väčší odpor, navyše ešte spojený s použitím vzpier a výstužných lán.
- Jeden a pol plošníky* (add.2) sú druhom dvoj plošníka, ktorého spodné krídlo dosahuje značne menšie rozpätie ako horné krídlo. V súčasnosti ho nenájdeme.
- Troj plošníky* (add.3) majú tri pevné nosné plochy umiestnené približne v rade nad sebou. Využívali sa v 1. svetovej vojne, dnes ich uvidíme len v múzeu, výnimočne ako lietajúce repliky historických lietadiel.

4.2 Rozdelenie lietadiel podľa výškovej polohy krídla

- Dolnoplošníky* (Zlin Z-226, add.4)
- Středoplošníky* (Extra300, add.5)
- Hornoplošníky* (L-60 Brigadyr, add.6)
- Parasol / pilón* (PBY-5 Catalina, add.7) - krídlo je umiestnené v nadstavbe nad trupom, ako ukazujú schémy na obr 3.



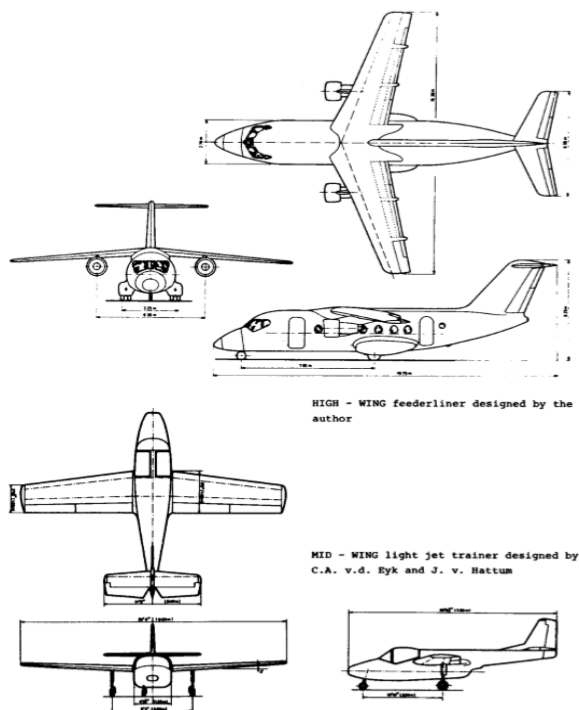
Obr. 3 Výšková poloha krídla a aerodynamické charakteristiky Zdroj: Pávek (1884)

Do tejto kategórie začleňuje Raymer (1992) aj samokrídlo, ktoré je hmotnosťou a z hľadiska aerodynamiky najvhodnejšie prevedenie. Nevýhodou je ovládateľnosť a náročnosť výroby. Samokrídlo, ako koncepcia ULL je veľmi málo vhodná. Zdanlivo výhodná absencia chvostových plôch a teda zníženie celkového odporu je vykúpené vysokým profilovým odporom autostabilných profilov, ktoré je nutné použiť pre zaistenie pozdĺžnej stability. Ďalšou možnosťou zaistenia pozdĺžnej stability je veľký kladný šíp krídla, s veľkým geometrickým skrútením. V oboch prípadoch je ale odpor pre výkonné ULL príliš veľký. Pozdĺžna a smerová stabilita samokrídla je neporovnateľne nižšia ako u MZK a MPK, ktoré majú stabilitu zaistenú nízko položeným ťažiskom.

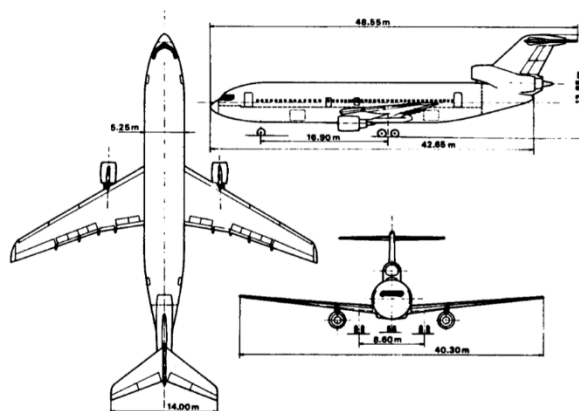
Najmenej vhodné u ULL je kačacie usporiadanie nosnej plochy. Krídlo u tejto koncepcie nie je ideálne využité, pretože musí mať menší súčiniteľ vztlaku, než kačacia plocha umiestnená pred krídlom z dôvodu dodržania pozdĺžnej stability. Nízka je aj smerová stabilita, pretože ZCHP je umiestnená blízko ťažiska. Z dôvodu dodržania pozdĺžnej stability nemôžu byť na krídle použité vztlakové klapky, a tak musí byť nosná plocha krídla pre dosiahnutie určitej minimálnej rýchlosti väčšia ako so vztlakovou klapkou. Ďalšou nevhodnou vlastnosťou pre ULL je skutočnosť, že kačacia plocha je veľmi citlivá na znečistenie povrchu a pri znečistení nedovolí dosiahnuť požadovanú minimálnu rýchlosť (Raymer, 1992).

4.2.1 Hornoplošník, dolnoplošník a strednoplošník

Pri návrhu lietadla musíme zvážiť vertikálne umiestnenie krídla vzhľadom k trupu. Tri rozdielne usporiadania krídel pri konštruovaní lietadiel v rôznych kategóriách vidíme na obr.4 a obr.5.



Obr. 4 Názorné usporiadanie krídel u hornoplošníka a stredoplošníka Zdroj: Torenbeek (1982)



Obr. 5 Názorné usporiadanie krídla u dolnoplošníka Zdroj: Torenbeek (1982)

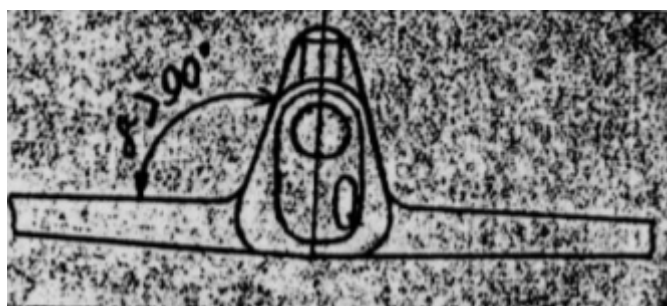
Je zřejmé, že umístění křídla vzhledem k trupu je do značné míry ovlivněné prevádzkovými požiadavkami. Hoci aerodynamické a konštručné rozdiely nie sú dôležité, môžu byť rozhodujúcimi faktormi len vtedy, keď voľba medzi hornoplošníkom, dolnoplošníkom a stredoplošníkom nie je predpísaná, s ohľadom na maximálnu prevádzkovú flexibilitu.

5 Dolnoplošník

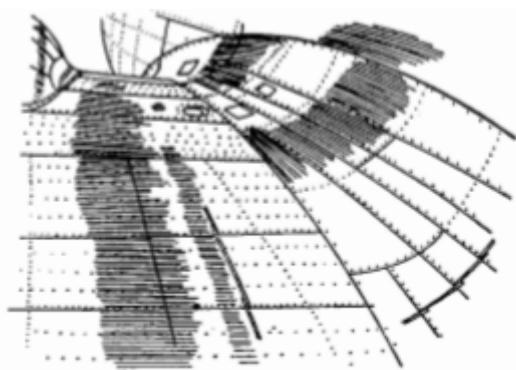
Prvým moderným a originálnym lietadlom bol celodrevený dolnoplošník Avia B.H.1. (add.8) vyrobený v roku 1920 a táto vtedy moderná koncepcia sa vo svete presadila až o niekoľko rokov neskôr. Od roku 1920 nastala nová éra celokovových lietadiel a vďaka novým poznatkom umožnili experimentovať s umiestnením krídla, čo umožnilo u dolnoplošníka vymeniť vzpery a drôtovú výstuž lepšími možnosťami. Dnesnej dobe je dolnoplošník najrozšírenejším typom lietadla.

5.1 Dolnoplošník – aerodynamika

Pri dolnoplošníku nie je nízko položené krídlo príliš vhodné z hľadiska interferenčného odporu, ktorý vzniká spájaním medzných vrstiev na krídle a na trupe pri koreni krídla. Najväčší prírastok interferenčného odporu zaznamenávame u trupov s kruhovým prierezom, pretože interferenčný uhol je menší ako 90° . Preto sa snažíme, aby uhol medzi povrchom krídla a bokom trupu bol väčší ako 90° Obr 6. Vznikne tak vajcovitý tvar prierezu trupu, výhodný v určitej miere i z hľadiska výhľadu z pilotnej kabíny smerom dolu. Interferenčný odpor môžeme znížiť prechodovým krytom (zakrytovanie kútov") - vid' obr. 7. Je dobré ale vedieť, že príliš veľký alebo zle prevedený prechod, zvýši odpor lietadla a ako konštrukčný prvok prispieva k celkovej hmotnosti lietadla. (Pávek, 1979).



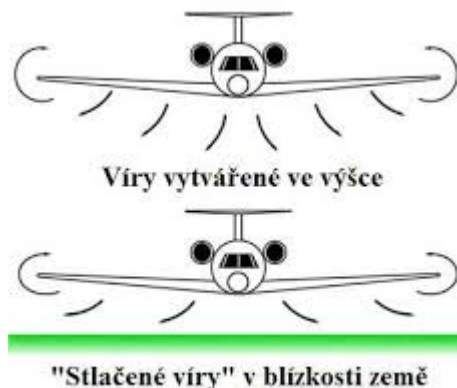
Obr. 6 Uhol medzi povrchom krídla a bokom trupu Zdroj: Pávek (1979)



Obr. 7 Prechodné kryty medzi krídlom a trupom Zdroj: Tůma (1981)

Pred dosadnutím lietadla na zem má nízko položené krídlo tendenciu dlho plávať. To spôsobuje prízemný efekt obr 8. Pokiaľ vzdialenosť krídla nad zemou je menšia než rozpätie krídla, má menší indukovaný odpor a preto lepší výkon, ako je možné pozorovať u vtákov. Jedná sa o okrajové víry vznikajúce na krídlach v konečných rozmeroch. Pretlak pod krídlom sa snaží na jeho koncoch preniknúť do tlaku nižšieho, nad krídlom, za vzniku intenzívnych vírov. Tie spôsobujú odklonenie výslednej vztlakovej sily smerom proti letu a jeho zložka tak vytvára prídavný odpor (indukovaný). Ten je priamo závislý na veľkosti vztlaku, štíhlosti

a pôdorysnom tvare krídla. V blízkosti zemského povrchu je nepriaznivý účinok týchto vírov zmenšovaný, takže klzávosť sa zväčšuje a klesanie sa znižuje. Minimalizovať tento nepríjemný jav je možné vztlakovou mechanizáciou, ktorá pri plnej výchylke, v polohe na pristátie - okrem vztlaku významne zvyšuje aj odpor lietadla. Indukovaný odpor počas letu sa znižuje použitím wingletov, ktoré upravujú prúdenie na koncoch krídla (Keller, 2011).



Obr. 8 Prízemný efekt Zdroj: <http://www.aerospaceweb.org/>

Ak umiestnime ťažisko dolnoplošníka skoro do stredu, blízko aerodynamického stredu, zabezpečíme tým, oproti hornoplošníku, dobrú stabilitu a dobré vyváženie v priečnom smere. U hornoplošníka je ťažisko lietadla-vyššie, než je jeho aerodynamický stred, čo je nevýhodou pre pozdĺžnu, tak aj pre stranovú stabilitu. Túto stabilitu ovplyvníme inými aerodynamickými prostriedkami na jej zlepšenie (vzopätie krídla, uhol nastavenia VCHP) (Torenbeek, 1982).

U dolnoplošníka môže trup ovplyvniť rozloženie tlaku nad krídlom až tak, že môže nastať odtrhnutie prúdnic od krídla. U hornoplošníka je táto situácia lepšia pretože trup ovplyvňuje hlavne prúdenie na spodnej strane krídla. Krídlo pri vzlete a pristátí je vystavené väčšiemu uhlu nábehu, ako počas normálneho letu. Na medznú rýchlosť má dopad aj uhol nábehu, kde pri odtrhnutí prúdnic od profilu krídla nastane pád. Ak porovnáme hornoplošník s dolnoplošníkom, tak dolnoplošník pri rovnakej ploche krídla generuje menší vztlak. Tým pádom bude aj kritická rýchlosť odtrhnutia prúdnic väčšia (Tůma, 1981).

5.2 Dolnoplošník – konštrukcia

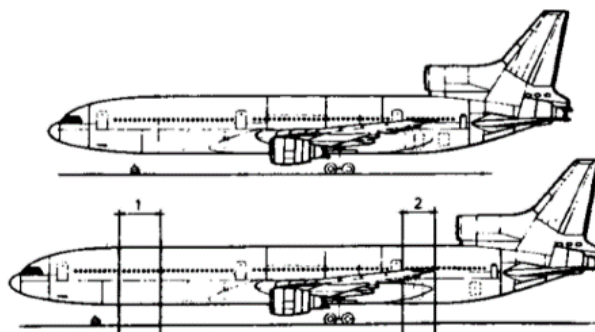
Pri komerčných letoch sa snažíme docieľiť čo najväčšiu bezpečnosť. Vďaka umiestneniu krídla na spodnej časti trupu plní krídlo dôležitú bezpečnostnú funkciu pri núdzovom pristátí bez podvozku, pričom absorbuje značnú časť trenia a nárazu. To je dôvod prečo sa často volí koncepcia dolnoplošníka. Výrazne takto znižuje rýchlosť a sily pôsobiace na posádku. Zároveň plní stabilizačnú úlohu tým, že bráni preklopeniu sa lietadla na bok. Pri núdzovom pristávaní na vode má väčšiu výhodu dolnoplošník, pretože krídla dokážu udržať väčšiu časť trupu nad vodou. Krídla sa v tomto prípade dajú využiť na vystupovanie cestujúcich. Ide o tzv. vankúšový efekt obr. 9., vznikajúci stlačením vzduchu medzi krídlom a povrchom pod ním. Ak zanedbáme uhol vzopätia, je výhodné použiť jednu spojitú klapku, pretože tým dosiahneme redukciiu komplexnosti a aj asymetriu vztlaku. Spojitá klapka zabezpečuje viac vztlaku a odporu, ako pri rovnakej účinnej ploche u rozdelenej klapky trupom na dve časti (Skopal, 1958).



Obr. 9 Núdzové pristátie Airbus 320 na vodnej hladine Zdroj: <https://dromedar.zoznam.sk>

Vďaka nízko položenému krídlu nie je podvozok dolnoplošníka taký vysoký a dáva dostatok priestoru na jeho zaťahovanie. Taktiež výhodou je aj čap, ktorý je súčasťou centroplánu alebo krídla, vďaka ktorému sa podvozok otáča zaťahovaním. Vplyvom väčšieho rozchodu hlavného podvozku odpadá problém s nízkou priečnou stabilitou. Tým pádom môžeme využiť nízky a ľahký podvozok v dostatočnom rozsahu a jeho zakotvenia do krídla nám umožňuje nízko položené krídlo lietadiel s motorom v trupe, čo je výhoda oproti hornoplošníku. Dolnoplošník oproti hornoplošníku má kratší podvozok, a tým pádom hmotnosť podvozku a celková hmotnosť dolnoplošníka je menšia, čo nám umožňuje zvýšiť hmotnosť nákladu alebo počet pasažierov. Pre absorbovanie záťaže, ktorá vznikne pri pristávaní lietadla, je potrebné často len minimálne zosilnenie krídla a centroplánu. Podvozok môžeme zatiahnuť v krídle, napríklad medzi prechodom krídla a trupom alebo v špeciálnych gondolách na trupe alebo v krídle. Avšak táto výhoda nie je tak výrazná u lietadiel s motorom na krídle, nakoľko podvozok musí byť dlhší, aby zaistil bezpečnú vzdialenosť medzi zemou a diskom vrtule a tým narastá jeho hmotnosť a teda aj zníženie doletu. Avšak dolnoplošník oproti hornoplošníku má menší sklon spodnej časti krídla, kde tento sklon je spätý s potrebou dodržať minimálny uhol nábehu pri vzlete a pristávaní lietadla (Torenbeek, 1982).

Priestor nad horným povrchom krídla je narušený prítomnosťou trupu, prípadne motorových gondol, čo má negatívny vplyv na rozloženie vztlaku po krídle, aj na aerodynamické charakteristiky celého lietadla. Pre zmenšenie odporu často prechádza centroplán cez trup, a tým pádom rozdeľuje nákladný priestor na dve časti, čo je štandardné riešenie pre komerčné lietadlá. Vhodné využitie priestoru v trupe, pre uloženie nákladu, je možné jedine, ak je vo vhodnej výške nad odbavovacou plochou. Bez toho, aby sme museli na lietadlo umiestniť vysoký podvozok, a preto je jednoduchšie túto výšku dosiahnuť využitím koncepcie dolnoplošníka. Obecne, väčšia výška trupu nad úrovňou zeme pri koncepcii dolnoplošníka môže taktiež poskytnúť výhodu, keď lietadlo s predĺženým trupom má uhol chvostu dostatočne veľký, aby umožnil optimálnu rotáciu behom vzletu bez toho, aby sa nevytvorili neprijateľné obmedzenia pri geometrickom uhle stúpania obr.10. (Reymer,1992).



Obr. 10 Predĺžený trup lietadla Lockheed Tristar Zdroj: Torenbeek (1982)

5.3 Dolnoplošník – prevádzka

Výhľad z kabíny u dolnoplošníka nad krídlom do priestoru je dobrý, no pod lietadlom ho obmedzuje krídlo hlavne v priamočiariom ustálenom letovom režime. Ale pri krúžení nám dáva možnosť dobrého výhľadu. Krídlo v náklone nezakrýva priestor, okolo ktorého krúžime, pretože krídlo zostáva zväčša mimo zorného poľa. Hluk v kabíne u piestových, turbovrtuľových a prúdových motorov je u dolnoplošníkov výrazne znížený oproti viacmotorovým typom hornoplošníkov a to vďaka motorom, ktoré sú mimo radu sedadiel pre cestujúcich. Dolnoplošník sa ľahšie tankuje, ak je nádrž umiestnená v krídle oproti rovnakému prevedeniu u hornoplošníka, ale týmto pádom bude nutné prečerpávanie paliva. Nižšie položený priestor pre náklad je výhodný pre malé nákladné lietadlá určené pre prevádzku na menších letiskách, súkromných letiskách alebo na poľných letiskách, kde nie je k dispozícii špeciálne nakladacie zariadenie. V prípade väčšiny dopravných lietadiel je výška uloženia podlahy v kabíne menej dôležitá, pretože môžeme použiť samohybné nastupovacie schody, ktorými väčšie letiská, odkiaľ je možná prevádzka týchto lietadiel, takmer spravidla disponujú.

6 Hornoplošník

Hornoplošníky môžeme rozdeliť podľa uchytenia pod hornou rovinou trupu, uchytenia nad alebo súbežne s hornou rovinou trupu a uloženia na podperách. Taktiež ako u dolnoplošníkov, v minulosti aj u hornoplošníkov, boli využívané koncepcie s podperami a drôtovou výstužou, pretože v tej dobe boli využívané kvôli väčšiemu vztlaku viacplošníka. Tieto krídla boli hlavne namáhané na ohyb, kvôli nedostatočnej pevnosti vtedajších materiálov. Podpery u hornoplošníkov môžeme dodnes vidieť na malých ultraľahkých lietadlách (Tůma, 1981).

6.1 Hornoplošník – aerodynamika

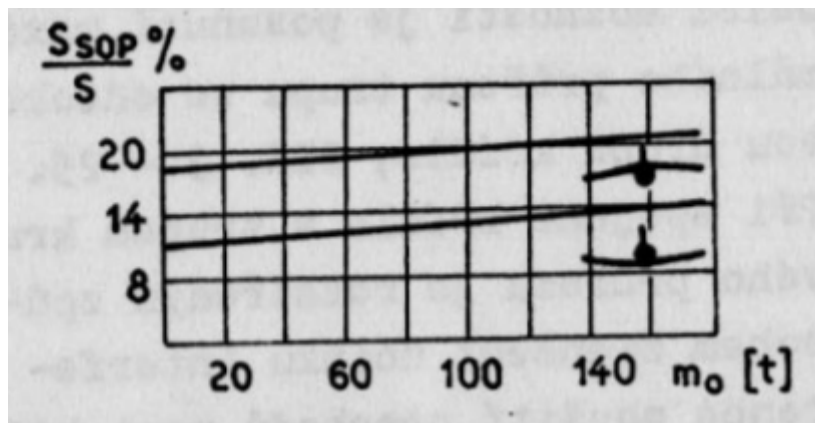
Podobne ako u dolnoplošníka umiestnenie krídla v hornej časti trupu zapríčiňuje zvýšený interferenčný odpor. I keď hornoplošné usporiadanie z hľadiska interferencie je priaznivejšie, je nevyhnutné zakryť kúty vhodnými prechodovými krytmi medzi krídlom a trupom. Ale ak má hornoplošník obdĺžnikový alebo štvorcový pôdorysný tvar, nie je nevyhnutné tieto prechodové kryty použiť, poprípade len malej veľkosti. Oproti dolnoplošníku ma väčší odstup medzi ťažiskom a pôsobiskom vztlakovej sily a vďaka tomu získa prirodzenú stabilitu počas letu, vďaka čomu krídlo máva len veľmi malé vzopätie alebo je často bez vzopätia a stred vztlaku, ktorý môže byť vyšší v dizajne hornoplošníka, je často kompenzovaný uhlom vzopätia u dolnoplošníka (Mikula, 2004).

Aerodynamickú čistotu a zlepšenie aerodynamických vlastností lietadla zvyšuje čistý horný povrch krídla nenarušený trupom ani motorovými gondolami. Oproti dolnoplošníku má na hornoplošník menší vplyv odrazený prúd vzduchu od zeme (prízemný efekt) na aerodynamiku lietadla, ako aj ochrana krídla a jeho častí pred horúcimi vplyvmi z turbíny. Pristátie je čistejšie, pretože krídlo stále „letí“, aj keď sa lietadlo dotkne zeme (Keller, 2011).

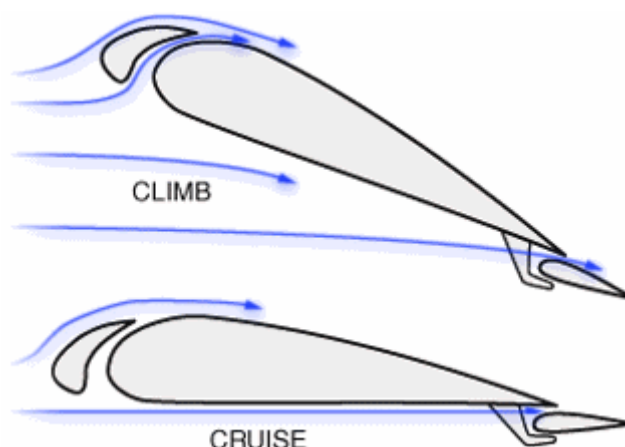
U hornoplošníkov je krídlo dôkladne oddelené vertikálne od horizontálnych chvostových plôch v letovej konfigurácii, čo zvyšuje ich účinnosť a efektívnosť, pretože je menej pravdepodobné, že dôjde k úplave pri ofukovaní chvostových plôch a teda k zníženiu aerodynamického účinku riadiacich plôch, prípadne k „flatrovaniu“ alebo „reverzii účinkov“ týchto plôch pri vyšších rýchlostiach letu. Naopak pri vzlete a pristátí dolnoplošníka môže ľahšie dochádzať k situáciám, kedy sa chvostové plochy dostávajú do úplavy čím sa znižuje účinnosť smerového a výškového kormidla (Hoerner, 1965).

Klapky hornoplošníka môžu mať veľmi veľkú rovinnú plochu a široký stupeň pohybu, čo pomáha aerodynamickému zdokonaleniu lietadiel s krátkym štartom a pristátím. Za rovnakých podmienok je aerodynamická jemnosť hornoplošníka s kruhovým prierezom vyššia o 4 - 5% ako dolnoplošníka. Plochu zvislých chvostových plôch treba zvýšiť o 30 - 50% , aby sme dosiahli potrebnú stranovú stabilitu pri veľkých uhloch nábehu, kde sú chvostové plochy v úplave za krídlom Obr. 11..Príkladom tejto koncepcie je CH 750 Cruzer (add.9), kde je využitá koncepcia krídla s vysokým vztlakom. Na tomto lietadle s krátkym štartom a pristátím (STOL) je použitý špeciálny profil krídla, aby sme dosiahli vysokého vztlaku, nízkych pádových rýchlostí a vysokej pevnosti. Vďaka vysokému profilu krídla, slotom po celej nábežnej hrane a flaperonom typu Junkers, udržiavajú krátke rozpätie krídla, čím dosiahneme maximálnu pevnosť a manévrovateľnosť na zemi. Sloty obr. 12. na nábežnej hrane krídla umožňujú lietadlu lietať pri veľkom uhle nábehu, pri nízkych rýchlostiach, vďaka zrýchleniu prúdu vzduchu medzi slotom a krídlom. Pre maximálnu spoľahlivosť a jednoduchosť konštrukcie sú sloty navrhnuté, aby zostali vo fixnej polohe, bez možnosti zasúvania. Flaperony po celej dĺžke krídla fungujú ako krídelká po celej dĺžke a aj ako klapky po celej dĺžke. Taktiež flaperony majú svoj vlastný profil a sú zavesené pod odtokovou hranou krídla, aby mohli byť

zásobované nezvřeným vzduchom pre maximálnu účinnosť pri nízkych rýchlostiach (Torenbeek, 1982).



Obr. 11 Porovnávanie hornoplošníka a dolnoplošníka na plochu zvislých plôch Zdroj: Pávek (1979)



Obr. 12 Sloty na nábežnej hrane Zdroj: <http://www.airpal.eu/>

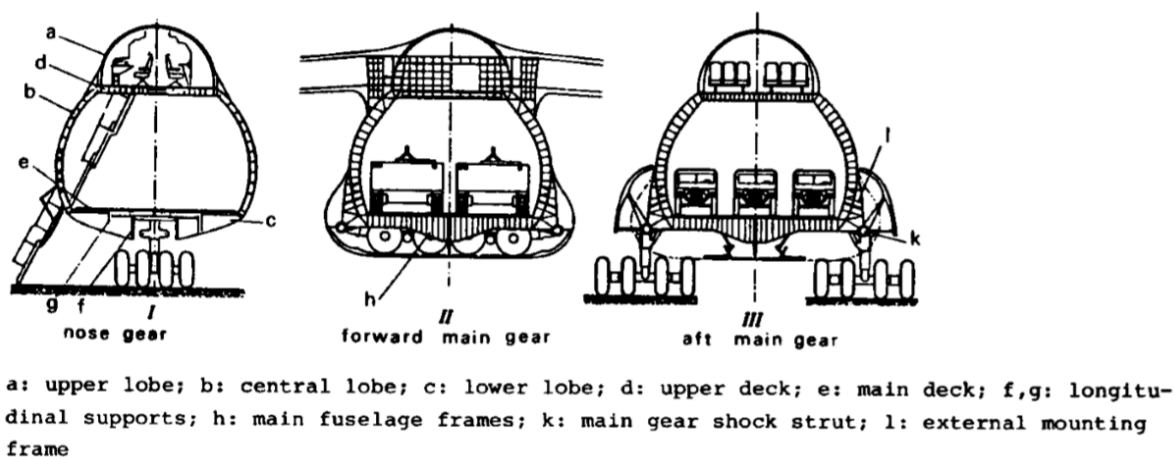
6.2 Hornoplošník – konštrukcia

Zložitá konštrukcia podvozku predstavuje najväčšiu nevýhodu. Obr. 13 jasne ukazuje, že zatiahnutie hlavného podvozku predstavuje pre konštruktérov problémy. Je ťažké navrhnuť podvozok s dostatočným rozchodom, rozumným rozmerom a vyhovujúcej hmotnosti. Pevný alebo zaťahovací podvozok je optimálne pripevnený k trupu tak, aby sa čo najviac znížila zložitosť konštrukcie krídla a využila štrukturálna integrita krídla. Ak je hlavný podvozok umiestnený v trupe, je rozchod podvozkových kolies limitovaný šírkou trupu. Pokiaľ je trup vo svojej spodnej časti úzky, kolesá podvozku sú blízko seba, tým sa ohrozuje stabilita lietadla v priečnom smere, čo môže byť prekážkou najmä pri zhoršených poveternostných podmienkach. Ak je pripevnený zaťahovací podvozok na hornom krídle (napr. AN-26, add.10), je rameno podvozku dlhé a podlieha obmedzeniam, pokiaľ ide o zaťaženie. To isté platí pre pevné podvozky namontované týmto spôsobom. Častým riešením konštruktérov je využitie podvozkovvej gondoly (napr. L-410, add.11), ktorá rozširuje dolnú časť trupu, alebo sa podvozok zaťahuje do nosníkov chvostových plôch (Hawker Siddeley Argosy, add.12). Týmto vyriešime problém stability, ale zvyšujeme aerodynamický odpor a hmotnosť. To je len čiastočné vykompenzovanie úspory hmotnosti v porovnaní s konštrukciou dolnoplošníka, ktorý má nižšie podvozkové nohy. V prípade, ak sa jedná o veľmi veľké lietadlo, mohlo by to spôsobiť, že bude podvozok veľmi vysoký a príliš ťažký a to povedie k namontovaniu

podvozku do trupu, v důsledku čeho je potřebné zesílení trupové konstrukce přenášající zatížení způsobené nárazem při pristátí a to bude mít za následek zvýšení hmotnosti. Pokud jsou podvozkové nohy uchytené k trupu, zvýší se hmotnost letadla o 2,5 - 3% a pokud jsou spojené s křídlem o 0,7 - 1% (Skopal, 1958).

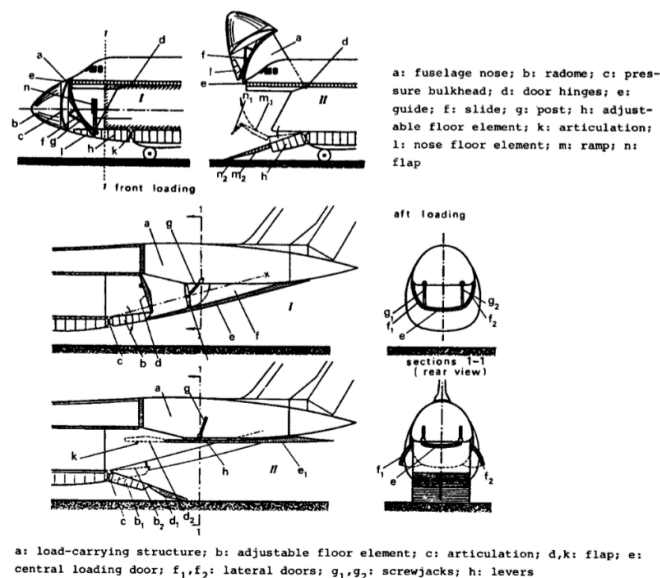
Poškození motoru se u hornoplošníka vyhneme, ak ho umístíme na křídlo letadla, a tím zamezíme nasátí nečistôt z dráhy letiska. Viacmotorové lietadlá nám ponúkajú možnosť podvesenia motorov pod křídlo, motor je aj v tomto prípade dostatočne vysoko nad letiskovou plochou. S umiestnením motorov vyššie kvôli priemeru otáčajúcej sa vrtule sa stretávame tiež u vrtuľových lietadiel. U hornoplošníka je výhodnejšie mať palivovú nádrž v křídle, pretože umožňuje spotrebu paliva z oboch nádrží súčasne, bez pridania palivových čerpadiel. Vplyvom gravitačných síl palivo odteká, nehrozí porucha palivových čerpadiel, ako u dolnoplošníka.

Konstruktivnou požiadavkou pre vojenské transportné lietadlo Lockheed C-5A (add.13) bolo rýchle nakladanie a vykladanie pechotných jednotiek. Lietadlo tiež muselo niesť rôzne druhy nákladu, ako sú kamióny s hmotnosťou 24 ton, tanky M-60 a delostrelecká vozidlá, zatiaľ čo muselo mať aj priestor pre posádku a personál obsluhujúci tento náklad. Na obr. 13 je znázornených niekoľko prierezov ukazujúcich, ako je tento náklad uložený v trupe. Podlaha je vypočítaná, aby prijala náklad $3600 \text{ kg} / \text{m}^2$ a má plochu 220 mm, zatiaľ čo leží asi 2,5 m nad zemou (Skopal, 1958).



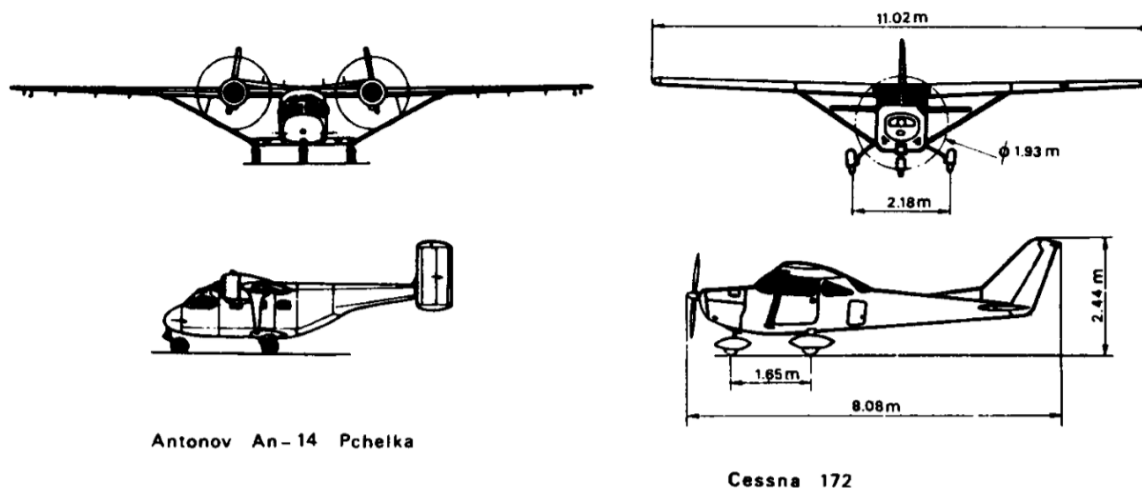
Obr. 13 Porovnanie rôznych typov trupu a podvozku Zdroj: Torenbeek (1982)

Kabína a sedadlá pre prepravu osôb sú usporiadané v dvoch radoch a oddelenou stredovou časťou křídla. Nakladanie a vykladanie prebieha cez nosové a zadné dvere a jasne ukazuje dôležitosť nízko položeney podlahy pre toto veľmi veľké lietadlo. V prípade dolnoplošníka porovnateľných rozmerov ako je Boeing 747 (add.14), je podlaha hlavnej paluby asi 5 m nad zemou. Vďaka tomu je také lietadlo závislé na špeciálnom nakladačom a nástupnom zariadení, čo je neprijateľné pre vojenské lietadlo, akým je C-5A (Torenbeek, 1982).



Obr. 14 Možnosti nakladania a vykladania nákladu Zdroj: Torenbeek (1982)

Vzperové jednoplošníky obr.15 sú v dnešnej dobe preferovaným dizajnom hornoplošníkov. Vzpery spôsobujú malé narušenie laminárneho prúdenia okolo profilu krídla, ak sú pripevnené k spodnej strane krídla a týmto pádom vzpery sú ľahšie, ako na iných pozíciách, pretože v tomto prípade vzpery budú namáhané na ťah.

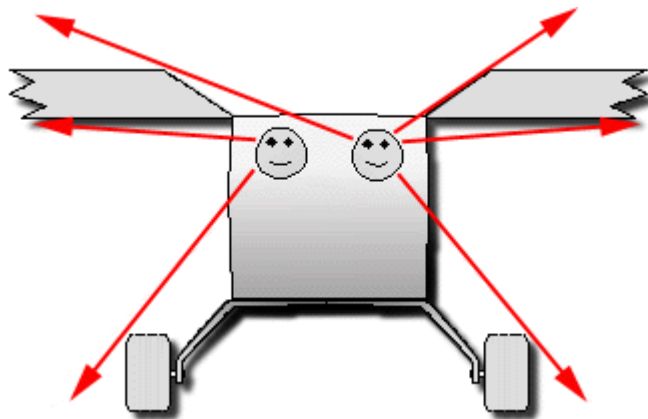


Obr. 15 Ukážka vzpier u hornoplošníkov Zdroj: Torenbeek (1982)

V prípade lietadiel s krátkym vzletom a pristátím môže tesná blízkosť krídla k zemi pri vzlete a pristátí spôsobiť výrazný nežiadúci prízemný efekt. Najviac, ak by bol použitý koncept dolnoplošníka u veľkých vrtuľových lietadiel STOL, vyžadovaná vzdialenosť medzi stojacim lietadlom a zemou pri plnej odklonenej štrbinovej klapke by mala za následok nutnosť vybaviť lietadlo veľmi vysokým a ťažkým pristávacím podvozkom. Práve preto sa táto koncepcia nevyužíva pri dolnoplošníkoch (Tůma, 1981).

6.3 Hornoplošník – převádzka

Hornoplošník ponúka lepší výhľad a rozhľad pre cestujúcich, hlavne v štvormiestnom alebo väčšom lietadle pod lietadlom, pretože tu krídlo neblokuje výhľad smerom nadol. Navyše, ak sú krídla pri koreni skosené, poskytuje lepší výhľad smerom hore, čo je užitočné hlavne pri ostrých zatáčkach obr. 16 . Okrem dobrého výhľadu, koncepcia hornoplošníka minimalizuje veľkosť čelnej plochy lietadla, čím sa znižuje odpor a zároveň umožňuje nenarušené obtekanie vzduchu od vrtule k chvostu a to zvyšuje účinnosť riadenia pri nízkych rýchlostiach (Hoerner,1965).

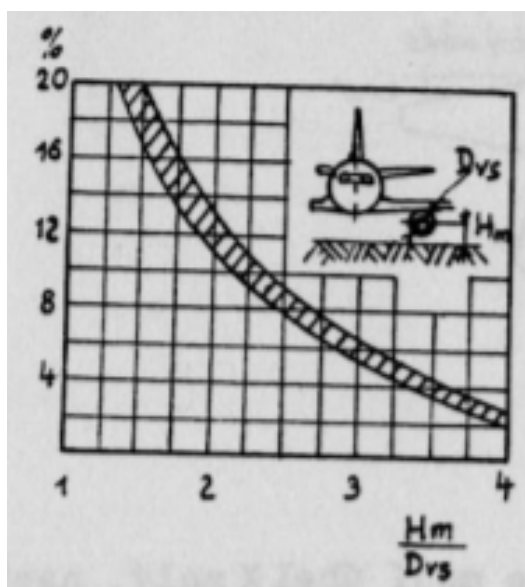


Obr. 16 Výhľad pilota u hornoplošníka s krídlami tesne skosené pri koreni Zdroj: <http://www.airpal.eu/>

Hornoplošník má malú vzdialenosť medzi trupom a zemou, čo je výhodné z hľadiska prevádzky, hlavne pri nástupe a výstupe posádky a cestujúcich alebo pri nakladaní a vykladaní ostatného nákladu. Pre vojenské dopravné lietadlá ako je C-5 a C-141 to umožňuje nakladanie a vykladanie nákladu bez použitia nakladacej plošiny. V skutočnosti je vzdialenosť medzi podlahou úložného priestoru a zemou asi 1,2 – 1,6 metra, čo je približná vzdialenosť medzi nákladom a zemou u väčšiny nákladných vozidiel. Čo je výhoda, ak sme v podmienkach, že nie je prítomná nakladacia plošina, tak môžeme využiť kamión, ktorý nacúva až k lietadlu a náklad môže byť jednoducho preložený z lietadla na kamión a to kvôli rovnakej výške podlahy, kde sa nachádza náklad. Koncept hornoplošníka sa častejšie používa u ultraľahkých lietadiel (napr. Eurofox, add.15), lietadiel určených predovšetkým k výsadbom parašutistov (napr. Pilatus PC-6, add.16) a u veľkých nákladných lietadiel (napr. AN-225). Hornoplošníky sú taktiež využívané pre hydroplány, ktoré sú schopné pristáť na vode. Tie rozoznávame ako lietadlá, ktoré sa trupom nedotýkajú vodnej hladiny a majú plaváky s trupom plávajúcim na vode. Hornoplošníky s trupom, ktorý pláva na vode sa využívajú hlavne pre boj s požiarom, pretože využijeme ich kapacitu v trupe pre nabratie vody bez toho, aby lietadlo muselo zastaviť. Dôvodom tejto koncepcie je fakt, že hornoplošníky majú menší vankúšový efekt pri pristávaní, čo je výhodou pri krátkych vodných nádržiach (Torenbeek, 1982).

Pri vzlete a pristávaní je pravdepodobnosť poškodenia krídla menšia u hornoplošníka. U hydroplánov a poľnohospodárskych lietadiel sú hornoplošníky výhodnou koncepciou, pretože umožňujú ľahšie vzlety a pristátia a je menej pravdepodobné, že budú počas vzletu a pristátia nepriaznivo ovplyvnené postrekom. Motory umiestnené na krídlach sú lepšie chránené, než u dolnoplošníka. Nevýhodou je ale pri núdzovom pristáti hornoplošníka na vode, ak nie je k tomu prispôbený, pretože hrozí, že únikové východy pre pasažierov budú zaplavené vodou. Aj to je jedným z dôvodov, prečo pre medzikontinentálne lety je skôr využívaný dolnoplošník.

U lietadiel s väčším počtom motorov na krídle sa zmeňujú pravdepodobnosť vysadenia motorov kvôli vniknutiu nečistôt do motora z letiskovej dráhy pri vzlete alebo pristáti, ako ukazuje obr. 16, ktorý popisuje závislosť predčasného zničenia motora v % na pomere vzdialenosti od povrchu dráhy vyjadrené pomerom vzdialenosti motora od povrchu (H_m) a priemerom motora (D_{vs}). A preto u hornoplošníkov sa snažíme docieľiť maximálnu vzdialenosť krídla a motora od zeme a je to jedna z požadovaných kritérií u lietadiel, ktoré pristávajú na nespevnených letiskách, kde je prašné prostredie. Dôvodom je zamedziť poškodeniu motora nasatím veľkého množstva prachu pri spätnom chode. Taktiež potrebná vyššia vzdialenosť motora od zeme je vyžadovaná pri lietadlách, ktoré majú naklápacie motory na prechod medzi lietadlom a vrtulníkom, kde túto požiadavku by nebolo možné zrealizovať pri koncepcii dolnoplošníka (Mikula, 2004).



Obr. 17 Predčasné zničenie motora Zdroj: Pávek (1979)

7 Stredoplošník

Stredoplošník má podobné vlastnosti ako dolnoplošník alebo hornoplošník. Využíva sa hlavne u bojových alebo akrobatických lietadiel kvôli malej štihlosti krídla. Dôvodom je aj umiestnenie sacej turbíny na stred trupu a výhoda kratšieho podvozku a jeho umiestnenia. U bojových lietadiel je výhodou lepšia manipulácia pri oprave krídla, poprípade výmena závesných zariadení (Pavlůsek, 2016).

7.1 Stredoplošník aerodynamika

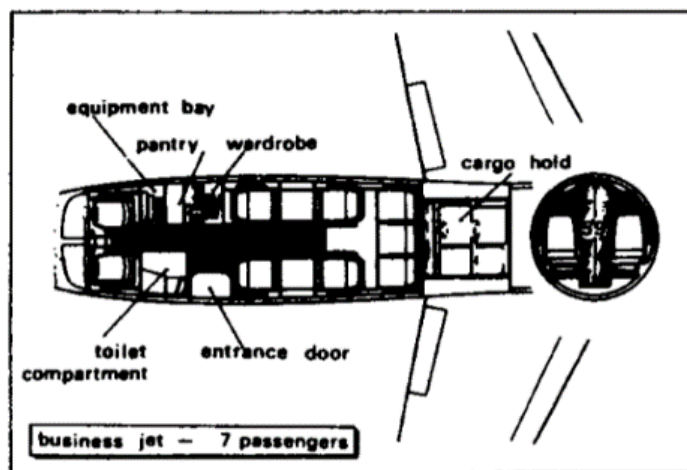
Z hľadiska aerodynamiky sa najčastejšie používa pre nadzvukové bojové (MIG-21), športové akrobatické lietadlá (Extra300). Túto koncepciu zvyčajne volíme, keď chceme dosiahnuť minimálny odpor pri vysokorýchlostnom lete. Krídlo umiestnené približne v mieste maximálnej šírky trupu vykazuje oproti ostatným typom usporiadania krídla najmenší interferenčný odpor, ako ukazujú aerodynamické charakteristiky na obr. 3 v predchádzajúcej kapitole. Vo väčšine prípadov, kde sa spája krídlo s trupom, je trupová časť valcovitého tvaru. Tým pádom nepotrebuje prechodové kryty alebo len veľmi malého rozmeru medzi trupom a krídlom a vďaka tomu sa minimalizuje odtrhnutie prúdnic, kde sa spája trup s koreňom krídla, pri vysokých uhloch nábehu (Pavlůsek, 2016).

Umiestnenie ťažiska skoro do stredu aerodynamického prúdenia mu zabezpečuje dobrú stabilitu a dobré vyváženie v priečnom smere. Lietadlo je tak lepšie ovládateľné a menej zradné pri strate vztlaku na pádovej rýchlosti. Oproti dolnoplošníkom a hornoplošníkom má tak lepšiu hodnotu aerodynamického odporu. Stredné krídlo má väčšiu tuhosť ako celok, čo je výhodou u bojových a akrobatických lietadiel. Inerciálne osi prechádzajúce stredom lietadla umožňujú rýchle vykonávanie manévrov s rotačným pohybom okolo pozdĺžnej a priečnej osi, s minimálnym polomerom zatáčania. S týmto usporiadaním je však ťažké vyhnúť sa značnému posunutiu ťažiska pre rôzne podmienky zaťaženia. Toto usporiadanie so záporným šípom má problém s aeroelastickými silami, ktoré je ťažko vyriešiť a preto ak chceme tieto sily eliminovať, pridávame na koniec krídla nádrže kvapkovitého tvaru alebo vreteno, ak sa jedná čisto o odpor (Skopal, 1958).

7.2 Strednoplošník – konštrukcia

Jeho najväčšou nevýhodou, najmä u konštrukcií s priebežným krídlom, je priechod krídla stredom trupu, čo narušuje priestor kabíny alebo zadný priestor trupu. Veľa druhov stredoplošníkov je používaných u stíhacích a cvičných lietadiel, kde je prijateľnejšie usporiadanie, za predpokladu, že priestor potrebný pre náklad je malý vzhľadom k celkovému vnútornému objemu trupu a existuje tu možnosť ho rozdeliť do samostatných sekcií. Krídlo môže byť priebežné a prechádzať cez trup. K prenosu zaťaženia z krídla na trup dochádza cez torznú skriňu. Torzná skriňa prenáša väčšie zaťaženie než samotné krídlo. Krídlo je delené a každá polovica krídla je upevnená samostatne v závese.

Všeobecne nie je možné použiť takéto usporiadanie pre dopravné lietadlá a len veľmi málo stredoplošných lietadiel využíva túto koncepciu. Nemôžeme však tvrdiť, že nebol nikdy použitý. Existuje niekoľko lietadiel ako napríklad Piaggio Avanti (add.17), ktorý má usporiadanie nosných plôch typu „kačica“. Iný príklad je HFB320 (add.18) na obr. 18, ktorý využíva koncepciu s negatívnym uhlom vzopätia a šípovitosti, pričom usporiadanie motorov má za kabínou na chvostových plochách (kýle), čiže od ťažiska smerom dozadu.



Obr. 18 Rozloženie trupu HFB320 Zdroj: Torenbeek (1982)

Dôležité je poznamenať, že pri veľkých dopravných lietadlách sa usporiadanie krídel už blíži ku koncepcii stredoplošníka, pretože podlaha kabíny je umiestnená tesne nad stredovou časťou krídla, je v priereze trupu. Kratší podvozok je v prípade bojových lietadiel upevnený na trup lietadla, čím sa umožní preprava zbraní a palivových nádrží na krídle. Ak je však podvozok pripevnený na krídle, lietadlo bude dlhšie a ťažšie ako v prípade dolnoplošníka (Torenbeek, 1982).

7.3 Stredoplošník – prevádzka

Vďaka väčšiemu odstupu krídla od zeme zabezpečuje jednoduchší prístup pod krídlo pre údržbu, opravu, či výmenu komponentov zariadení, situovaných v krídle. Stredoplošná konštrukcia sa najviac používa u moderných vojenských prúdových lietadiel, kedy pilotná kabína je umiestnená pred krídlom a motor za ním. Oproti hornoplošníkom je viditeľnosť pilota v čase zatáčania lepšia do vnútra zatáčky, no v priamočiariom ustálenom lete je výhľad pod lietadlo rovnako obmedzený ako u dolnoplošníka. Výhľad dolu pod lietadlo dobre riešia výrobcovia akrobatických lietadiel vyhotovením časti podlahy pod pilotom z priehľadných materiálov (napr. Extra 330, Edge 540).

8 Zhrnutie

Dolnoplošníky

Vzhľadom na veľmi dobrú stabilitu, bezpečnosť, pohodlie a aj ekonomickú výhodnosť, je v dnešnej dobe umiestnenie krídla pod trup najrozšírenejším druhom umiestnenia krídla. V rámci bezpečnosti plní krídlo dve hlavné úlohy: absorbovanie energie pri náraze alebo funkcia vzduchového vankúša pri pristátí na vode. Do popredia dávame pohodlie cestujúcich (dispozícia menšieho hluku od pohonných jednotiek), pohodlie personálu pre odbavenie lietadla (plnenie lietadla je jednoduchšie) a pohodlie pracovníkov údržby, ktorí majú vďaka nižšie položenému krídlu lepší prístup k agregátom, umiestneným v krídle aj bez pomoci plošín alebo schodov. Ekonomická výhodnosť spočíva v tom, že vďaka dokonale skrytým podvozkom je odpor krytov podvozku minimálny, čím je menšia spotreba paliva, respektíve väčší dolet lietadla. Dolnoplošníky majú tiež aj mnoho nevýhod, a to hlavne riziko dostať chvostové plochy do úplavy od krídla pri vyšších uhloch nabiehajúceho vzduchu. Interferenčný odpor je rovnaký ako u hornoplošníkov vzhľadom komplikovanejšej výroby, pri ktorej dbáme na zvýšenie uhlu medzi jednotlivými spojmi krídla a trupu. Tendenciu klzania zaznamenáme pokiaľ je vzdialenosť krídla od zeme menšia ako rozpätie křídel. Za najväčšiu nevýhodu dolnoplošníka považujem menší vztlak spôsobený tým, že vrchná strana krídla je prerušená trupom, čo má za dôsledok vyššiu kritickú rýchlosť odtrhnutia prúdnic.

Hornoplošníky

Lietadlá s umiestneným trupom pod krídlom sú najvýhodnejšie pre nákladnú dopravu, kde je manipulácia s nákladom omnoho jednoduchšia a riziko kontaktu krídla s nákladom alebo s vozidlom najmenšie. Ich najväčšou výhodou je veľký vztlak, keďže krídlo nie je na vrchnej strane narušené a je dobrý výhľad z kabíny. Hornoplošníky majú takisto aj veľa nevýhod ako väčší hluk v kabíne, menšia bezpečnosť pri strete so zemou, zložitá konštrukcia, zložitá manipulácia pri tankovaní alebo údržbe, komplikovaný a citlivý podvozok, menšia stabilita alebo rovnako, ako aj pri dolnoplošníku, väčší interferenčný odpor. Lietadlá s týmto usporiadaním křídel sú využívané hlavne v ozbrojených zložkách, leteckej nákladnej preprave, kde nie sú vyhranené vysoké požiadavky na pohodlie alebo sú využívané pre cestujúcich len na krátke lety.

Stredoplošníky

Využívané sú hlavne pri bojových alebo akrobatických lietadlách. Tento typ umiestnenia krídla má najmenší odpor, čo umožňuje lietať vyššími rýchlosťami. Rovnako umožňujú do podvesných zariadení pod krídlom aj jednoduchú montáž zbraní. Stredoplošníky vzhľadom na prepojenie křídel cez trup lietadla, nie sú vhodné na využitie v dopravnej alebo nákladnej preprave, kde by obmedzili užitočný priestor pre náklad alebo cestujúcich.

9 Závěr

Pri konštrukcii lietadla sa ukrýva mnoho hodín strávených hľadaním vhodného návrhu, následne prepočtov či výberom vhodného materiálu na jeho výrobu. Spomedzi mnohých správnych konceptov vyberajú letecké spoločnosti tie, ktoré sú najvýhodnejšie pomere k cene, výkonu, bezpečnosti či dizajnu. Toto môže byť jedným z dôvodov prečo pri rovnakom type lietadla využívame rôzne umiestnenie krídel.

Hlavným cieľom našej práce bolo poukázať na vplyv usporiadania krídel na lietadle z hľadiska aerodynamiky, výkonu, pevnosti, hmotnosti a efektivity. Ak hovoríme o aerodynamických a konštrukčných vlastnostiach musíme mať na zreteli tvar krídla a sily, ktoré pôsobia na jeho záťaž. Na začiatku sme sa zamerali na popis vertikálneho usporiadania krídel jednotlivých typov lietadiel, predkladám prehľad koncepcie usporiadania krídel na lietadle. Pri konštrukčnom popise jednotlivých typoch lietadiel som vychádzal z poznatkov zo štúdia odbornej literatúry. Porovnal som jednotlivé koncepcie lietadiel a uviedol výhody a nevýhody z hľadiska aerodynamiky, konštrukcie a prevádzky.

Nedá sa jednoznačne povedať, ktorý koncept je vzhľadom na polohu krídel to najlepšie na výrobu, pretože ak berieme do úvahy všetky hľadiská vidíme výhody i nevýhody. Za najvýhodnejšie v osobnej leteckej doprave dávame do popredia dolnoplošník, ktorý je bezpečný a ekonomicky najvýhodnejší. Jeho najväčšou prednosťou je komfort cestujúcich a personálu. V nákladnej doprave uprednostňujeme hornoplošník, pretože je tu výborný výhľad z kabíny. Jeho nevýhodou je však väčší hluk a konštrukcia. Stredoplošníky môžeme vidieť pri rôznych akrobatických súťažiach, sú obľúbené pre ich rýchlosť, avšak pre prepravu osôb sú najnevýhodnejšie. Preto je nutné vedieť na aký cieľ bude lietadlo využívané. Ak sa jedná o prepravu osôb na prvom mieste je bezpečnosť. U vojenských lietadiel podľa môjho názoru je na prvom mieste využiteľnosť.

10 Zdroje

- [1] HOERNER, SIGHARD, F., Dr.-Ing. *Fluid-dynamic drag*. 1965. ISBN 10: 1124136223.
- [2] KELLER, LADISLAV, Ing. ET AL. *Učebnice pilota 2011*. Cheb: Svět křidel. 2011. ISBN 978-80-86808-90-1.
- [3] MIKULA, JAN, Ing. *Konstrukce a projektování letadel I*. Praha 6: Vydavatelství ČVUT, Thákurova 1, 160 41. 2004. ISBN 80-01-03073-3.
- [4] PÁVEK, Jozef. *Konstrukce a projektování letadel II*. Praha: FS ČVUT v Praze, 1984
- [5] PÁVEK, J., KOPŘIVA, Z.: *Konstrukce a projektování letadel 1*. Vyd.1. Brno, VAAZ, 1979.
- [6] PAVLŮSEK, ALOIS. *Sportovní a cvičná letadla*. Brno: Albatros Media a.s. . 2016. ISBN 978-80-264-1146-8.
- [7] RAYMER, DANIEL,P. *Aircraft design: a conceptual approach*. 1992. ISBN 0-930403-51-7.
- [8] SKOPAL., KADLEC., HELMICH., HANZAL. *Rozpoznávání letadel*. Praha: Naše vojsko, tiskárna, n.p. . 1958. 56/III-12D-584197.
- [9] SLAVĚTÍNSKY, Dušan. Vlastnosti a použití šípových křidel. O letadlech Dušan Slavětínský starší [online]. b.r. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <http://www.slavetind.cz/stavba/konstrukce/kridlo/SipoveKridlo-vlastnosti.aspx#zapsip>
- [10] TORENBEEK, EGBERT. *Synthesis of Subsonic Airplane Design*. 1982. ISBN 90-247-2724-3.
- [11] TREBICHAVSKÝ, FERDINAND, Prof., Ing., TICHAVSKÝ, VLADIMIR, Doc., Ing., KŘÍŽ, JOSEF, Ing., CSc. *Letecká doprava včera, dnes a zajtr*. Bratislava, Hurbanovo: Alfa, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry. 1981.
- [12] TŮMA, J. *Letadla: pro učební a studijní obory na SOU*. Praha: SNTL- Nakladatelství technické literatury. 1981.
- [13] Wikipedia contributors. Wing configuration [online]. Wikipedia, The Free Encyclopedia. [cit. 06.05.2020]. URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Wing_configuration>.

Zoznam obrázkov

Obr. 1	Časti krídla	Zdroj: https://commons.wikimedia.org	12
Obr. 2	Pôdorysové tvary krídel	Zdroj: Tůma (1981)	13
Obr. 3	Výšková poloha krídla a aerodynamické charakteristiky	Zdroj: Pávek (1884)	15
Obr. 4	Názorné usporiadanie krídel u hornoplošníka a stredoplošníka	Zdroj: Torenbeek (1982) .	16
Obr. 5	Názorné usporiadanie krídla u dolnoplošníka	Zdroj: Torenbeek (1982)	17
Obr. 6	Uhol medzi povrchom krídla a bokom trupu	Zdroj: Pávek (1979)	18
Obr. 7	Prechodné kryty medzi krídlom a trupom	Zdroj: Tůma (1981)	18
Obr. 8	Prízemný efekt	Zdroj: http://www.aerospaceweb.org/	19
Obr. 9	Núdzové pristátie Airbus 320 na vodnej hladine	Zdroj: https://dromedar.zoznam.sk	20
Obr. 10	Predĺžený trup lietadla Lockheed Tristar	Zdroj: Torenbeek (1982)	21
Obr. 11	Porovnávanie hornoplošníka a dolnoplošníka na plochu zvislých plôch	Zdroj: Pávek (1979) ..	23
Obr. 12	Sloty na nábežnej hrane	Zdroj: http://www.airpal.eu/	23
Obr. 13	Porovnanie rôznych typov trupu a podvozku	Zdroj: Torenbeek (1982)	24
Obr. 14	Možnosti nakladania a vykladania nákladu	Zdroj: Torenbeek (1982)	25
Obr. 15	Ukážka vzpier u hornoplošníkov	Zdroj: Torenbeek (1982)	25
Obr. 16	Výhľad pilota u hornoplošníka s krídlami tesne skosené pri koreni	Zdroj: http://www.airpal.eu/	26
Obr. 17	Predčasné zničenie motora	Zdroj: Pávek (1979)	27
Obr. 18	Rozloženie trupu HFB320	Zdroj: Torenbeek (1982)	29

OBRÁZKOVÁ PRÍLOHA



add.1: Dvojplášník SPAD S.VII

zdroj: <https://www.pinterest.ca/>



add.2: Jeden a pol plošník Antonov 2

zdroj: <https://www.aeroin.net/>



add.3: Trojplášníky Fokker DR1

zdroj: <https://sk.m.wikipedia.org/>



add. 4: Zlín Z-266 trener

zdroj: <http://commons.wikipedia.org/>



add. 5: Extra EA-300

zdroj: <http://en.wikipedia.org/>



add. 6: L-60 Brigadyr

zdroj: <http://www.flugzeuginfo.net/>



add. 7: PBV-5 Catalina

zdroj: <http://commons.wikipedia.org/>



add. 8: Avia B.H.1

zdroj: <http://cs.wikipedia.org/>



add. 9: CH 750 Cruiser
zdroj: <http://www.zenithair.com/>



add. 10: AN-26
zdroj: <https://domov.sme.sk/>



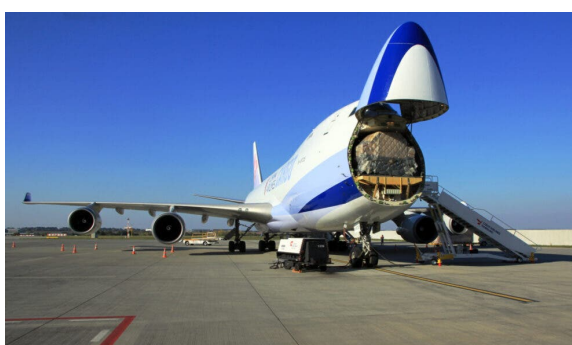
add. 11: L-410 Turbolet
zdroj: <https://cs.wikipedia.org/>



add. 12: Hawker Siddeley Argosy
zdroj: <http://www.oldprops.ukhome.net/>



add. 13: Lockheed C-5A
zdroj: <https://commons.wikimedia.org/>



add. 14: Boeing 747
zdroj: <https://simpleflying.com/>



add. 15: Eurofox
zdroj: <http://www.eurofoxuk.co.uk/>



add. 16: Pilatus PC-6
zdroj: <https://www.flickr.com/>



add. 17: Piaggio P180 Avanti
zdroj: <https://sk.pinterest.com/>



add. 18: HFB 320
zdroj: <https://www.reddit.com/>