



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

## KONCEPCE JEDNOTLIVÝCH KATEGORIÍ LETOUNŮ THE CONCEPT OF THE INDIVIDUAL CATEGORIES OF AIRCRAFT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JAN HAVRÁNEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ ZABLATZKÝ

BRNO 2011



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Jan Havránek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

### **Koncepce jednotlivých kategorií letounů**

v anglickém jazyce:

### **The Concept of the Individual Categories of Aircraft**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Po celém světě létá v provozu mnoho koncepcí letounů v různých kategoriích, chybí však jejich ucelený přehled.

Cíle bakalářské práce:

Vytvořit ucelený přehled jednotlivých koncepcí letounů.

Seznam odborné literatury:

[1] Jane's: All The World Aircraft, Jane's,  
Information group limited, UK

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Zablatzký

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 26.11.2010

L.S.

---

prof. Ing. Antonín Pištěk, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá kategoriemi letounů a jejich koncepcemi. Hledá typické koncepce v jednotlivých kategoriích a vysvětluje důvody použití těchto koncepcí. Uvádí výhody a nevýhody jednotlivých koncepčních řešení z hlediska aerodynamického, konstrukčního, technologického a provozního.

## Klíčová slova

letoun, dopravní letoun, transportní letoun, obchodní letoun, sportovní letoun, akrobatický letoun, užitkový letoun, zemědělský letoun, hydroplán, létající člun, amfibie, jednoplošník, sesquiplán, dvojplošník, přímé křídlo, lichoběžníkové křídlo, eliptické křídlo, šípové křídlo, trojúhelníkové křídlo, dolnoplošník, středoplošník, hornoplošník, kladné vzepětí, záporné vzepětí, vodorovná ocasní plocha, svislá ocasní plocha, kachna, křížové ocasní plochy, T-ocasní plochy, motýlkové ocasní plochy, podvozek příďového typu, podvozek záďového typu, tandemový podvozek

## Abstract

This bachelor's thesis deals with categories of fixed-wing aircraft and their concepts. It searches for the typical concepts in each category and explains the reasons for using them. It brings out the advantages and disadvantages of the individual designs in terms of aerodynamics, structure, technology and operation.

## Keywords

fixed-wing aircraft, airliner, transport airplane, business jet, sport airplane, aerobatic airplane, utility airplane, agricultural airplane, seaplane, flying boat, amphibian, monoplane, sesquiplane, biplane, unswept wing, trapezoidal wing, elliptical wing, swept wing, delta wing, low-wing airplane, mid-wing airplane, high-wing airplane, dihedral, anhedral, tailplane, fin, canard, cruciform tail, T-tail, V-tail, tricycle landing gear, conventional landing gear, tandem landing gear

## Bibliografická citace

HAVRÁNEK, J. *Koncepce jednotlivých kategorií letounů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 34 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Zablatzký.



## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Jiřího Zablatzkého a s použitím uvedených zdrojů.

V Brně dne 27. 5. 2011

.....  
Jan Havránek





## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval panu Ing. Jiřímu Zablatzkému za vstřícnost, cenné rady a konstruktivní kritiku při tvorbě této práce, jakož i své rodině a přátelům za všeobecnou podporu v průběhu mého dosavadního studia.



## Obsah

|   |    |
|---|----|
| 1. Úvod.....  | 5  |
| 2. Stručný přehled koncepcí letounů.....              | 6  |
| 3. Rozbor vybraných kategorií letounů                 |    |
| 3.1. Dopravní letouny pro střední a dlouhé tratě..... | 7  |
| 3.2. Transportní letouny.....                         | 12 |
| 3.3. Obchodní letouny.....                            | 16 |
| 3.4. Sportovní letouny.....                           | 19 |
| 3.5. Užitékové letouny                                |    |
| 3.5.1. Zemědělské letouny.....                        | 23 |
| 3.5.2. Vodní letouny.....                             | 24 |
| 3.5.3. Víceúčelové letouny.....                       | 27 |
| 3.6. Bojové letouny.....                              | 27 |
| 4. Závěr.....   | 31 |
| 5. Seznam použitých zdrojů                            |    |
| 5.1. Tištěné zdroje.....                              | 32 |
| 5.2. Internetové zdroje.....                          | 32 |
| 5.3. Zdroje obrázků.....                              | 33 |
| 6. Seznam použitých zkratk a symbolů.....             | 34 |



## 1. Úvod

Všechny letouny mají na první pohled určité společné znaky. Mají trup, nosné plochy, stabilizační plochy, pohonnou soustavu, přistávací zařízení. Přesto se od sebe navzájem liší. Druh a vzájemné uspořádání uvedených prvků dohromady tvoří *koncept* letounu. A nabízí se řada otázek: „Která koncepce je lepší?“, „Proč byla zvolena tato, a ne jiná?“, „Jaký je rozdíl mezi touto koncepcí a jinou?“, „V čem je tento prvek lepší než jiný?“ Takovéto otázky znějí poněkud laicky, faktem však je, že právě takovým otázkám jsem byl nezdědka vystaven ze strany svého okolí. Jakožto od člověka, který se o letectví dlouho zajímá, ode mne byly očekávány odpovědi, a já jsem nebyl schopen spolehlivě odpovědět. A tím se otevírá prostor pro tuto práci.

Stačí se rozhlédnout spektrem letounů, například v encyklopedii, a lze dojít ke zjištění, že některé koncepce se stále opakují. A naopak, některé se používaly v minulosti, a dnes se s nimi prakticky nesetkáme. Pečlivějším studiem lze navíc zjistit, že v určitých kategoriích letounů se určité koncepce vyskytují častěji, ba co víc, že jednu a tu samou koncepci používá naprostá většina letounů v dané kategorii. Právě toto zjištění je základní myšlenkou mé práce.

Jako každý sofistikovaný výrobek je i letoun výsledkem dlouhého a náročného vývoje. Na jeho začátku stojí řada požadavků, na konci stojí výsledek v podobě letounu. V průběhu vývoje musí být učiněna řada rozhodnutí, a jedním z prvních je volba nejvhodnější koncepce. Cílem této práce je zjistit, čím se vlastně volba koncepce řídí, zdali se jednotlivé koncepční prvky navzájem ovlivňují, zdali lze některou koncepci označit za nejvhodnější, jaký vliv mají jednotlivé prvky koncepce na vlastnosti celého letounu.

Popisované kategorie letounů jsou zvoleny tak, aby pokryly pokud možno celé spektrum koncepčních řešení, jejichž výčet následuje po tomto úvodu.

## 2. Stručný přehled koncepcí letounů

Obecně vzato neexistuje žádné oficiální rozdělení koncepcí. Lze je však členit podle určitých zvolených hledisek. I letouny na první pohled velmi podobné mají řadu koncepčních a zejména konstrukčních odlišností, takže by bylo možné vymyslet řadu dalších hledisek, podle kterých by šlo letouny dále rozdělovat. Tato práce však nemůže zabíhat do přílišných podrobností, proto musím nastavit určitou rozlišovací úroveň – ta by se dala definovat jako pohled na letoun „zdálky“, kdy člověk vnímá vnější tvary a uspořádání stroje, ale už ne detaily mechanizace křídel například. Zde uvádím heslovitý výčet koncepčních hledisek, kterými se hodlám zabývat. Jejich vlastnosti budou diskutovány dále.

### počet nosných ploch

- jednoplošník
- sesquiplán
- dvojplošník

### půdorysný tvar křídla

- přímé křídlo
  - obdélníkové
  - lichoběžníkové
  - eliptické
  - kombinované
- šípové křídlo
- trojúhelníkové křídlo
- gotické křídlo

### výšková poloha křídla

- dolnoplošník
- středoplošník
- hornoplošník

### vzepětí křídla

- nulové vzepětí
- kladné vzepětí
- záporné vzepětí
- vzepětí do U
- vzepětí do M

### počet motorů

- jednomotorové letouny
- dvoumotorové
- vícemotorové

### druh pohonu

- vrtulový
  - pístový motor
  - turbovrtulový motor
- proudový
  - turbínový motor
  - bezturbínový motor
- raketový

### umístění motorů

- v přední části trupu
- v zadní části trupu
- na křídlech
- v gondolách na trupu

### tvar příčného průřezu trupu

- obdélníkový
- kruhový
- oválný
- vejčitý

### vodorovné ocasní plochy (VOP)

- klasické
- plovoucí
- kachna

### svislé ocasní plochy (SOP)

- jednoduché
- dvojité
- trojité

### uspořádání ocasních ploch

- klasické
- křížové
- uspořádání do T
- motýlkové

přistávací zařízení

- přistávací lyže
- kolový podvozek
  - předového typu
  - zádového typu
  - tandemový
- plováky
- lyžový podvozek

### 3. Rozbor vybraných kategorií letounů

#### 3.1. Dopravní letouny pro střední a dlouhé tratě

Dopravní letectví prošlo od konce druhé světové války bouřlivým rozvojem, a to nejen co se týče techniky, ale také objemu dopravy, který dodnes především ve vyspělých zemích neustále roste a tento růst se předpokládá i do budoucna. Letouny pro přepravu cestujících jsou konstruovány tak, aby při co nejnižších provozních nákladech byly schopny pojmout co největší platící zatížení, tj. cestující a jejich zavazadla, a byly schopny provozu v podmínkách maximální využitelnosti. Značné nároky jsou kladeny i na příjemné prostředí a bezpečnost cestujících. Z hlediska koncepce a konstrukce jde především o minimalizaci aerodynamických odporů za letu, celkovou stabilitu a klidné chování stroje při manévrech a také dostatečnou spolehlivost, aby letoun mohl být neustále v provozu, a tedy maximálně využit. Ekonomické požadavky se týkají především volby úsporných motorů a v současné době se k nim přidávají i hlediska ekologická a environmentální, zejména požadavek nízké hlukové emise.

Současné dopravní letouny pro střední a dlouhé tratě létají ve výškách okolo 10 km, kde se již nevyskytují nepříznivé meteorologické jevy, které cestujícím zneprůjemňují let a posádce práci. Jsou proto vybaveny přetlakovou kabinou a proudovými motory, které v daných výškách pracují s vyšší účinností než v nižších polohách a umožňují dosahovat cestovních rychlostí přes 900 km/h. Jako typického představitele dopravního letounu pro střední tratě jsem zvolil letouny řady Boeing 737, za dopravní letouny pro dlouhé tratě řady Airbus A340. Jedná se o vícemotorové jednotrupé dolnoplošníky s šípovým křídlem, klasickým uspořádáním ocasních ploch a podvozkem předového typu.



Obr. 1 Boeing 737-800

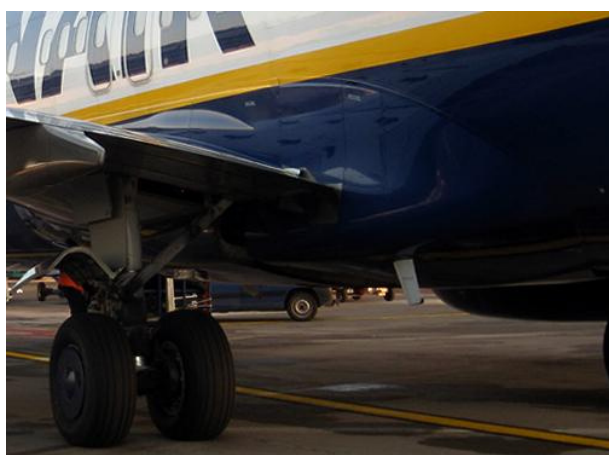


Obr. 2 Airbus A340-541

Trup je z aerodynamického hlediska přítěží, je proto žádoucí minimalizovat čelní průřez a velikost obtékané plochy za účelem snížení aerodynamického odporu. Na druhou stranu požadujeme co nejvíce prostoru uvnitř trupu pro umístění cestujících, nákladu, podvozku a všech potřebných systémů, tedy co největší objem. Tyto protichůdné požadavky splňuje nejlépe trup s kruhovým příčným průřezem, který je nejobvyklejší i u jiných kategorií letounů. Je také nejvhodnější z hlediska zatížení od přetlakování kabiny. [4] [5]

Dolnoplošné uspořádání je taktéž velmi časté díky mnoha výhodám, které skýtá. Jeho použití způsobí nejmenší zvýšení hmotnosti ostatních konstrukčních skupin a také nosník křídla procházející trupem nenarušuje tolik vnitřní prostor, protože bývá ukryt pod podlahou kabiny. Křídlo také umožňuje velmi vhodně umístit hlavní podvozkové nohy zatahující se směrem k trupu, které tak při dostatečném rozchodu nemusejí být příliš dlouhé a navíc jsou kola v zatažené poloze uložena v trupu, čímž odpadá potřeba podvozkových gondol, jež by zvyšovaly aerodynamický odpor. Nízko položené křídlo také zkracuje rozjezd a zvyšuje stoupavost u země, usnadňuje přístup k motorům, tankování a obsluhu a údržbu dalších zařízení umístěných na křídle. Další výhodou dolnokřídlého letounu je fakt, že při nouzovém přistání se se zemí střetne nejdříve masivní konstrukce křídla, která pohltí velkou část energie a chrání cestující umístěné výše. [4] [5]

Volba nejvýhodnějšího tvaru trupu a nejvýhodnější polohy křídla neznámá, že jejich kombinace bude také nejvýhodnější. Právě naopak – kombinace kruhového průřezu trupu a dolního křídla je nejhorší kombinací z hlediska indukovaného odporu způsobeného interferencí křídla a trupu. Tento odpor lze velmi úspěšně snížit vhodným řešením přechodů mezi křídlem a trupem. [5]



Obr. 3, Obr. 4 Přechody mezi křídlem a trupem Boeingu 737

Při rychlostech vyšších než  $M=0,7$  se začínají projevovat nepříznivé účinky stlačitelnosti vzduchu. Tyto problémy omezuje šípové křídlo. Má ovšem řadu nevýhod – menší součinitel vzlaku, složitější konstrukci, vyšší hmotnost, nižší tuhost a nevhodné pádové vlastnosti. Aerodynamické vlastnosti křídla lze ovlivnit drobnými úpravami, ale konstrukční nevýhody odstranit prakticky nelze. [4] Šípové křídlo se však přes všechny své nevýhody používá, neboť pro takto rychlé letouny je štíhlé přímé křídlo nevhodné a šípové je tedy nutností.

Vzepětí křídla se používá k ovlivnění příčné stability. Dolnoplošné uspořádání má destabilizující účinek, šípové křídlo naopak stabilizující. Destabilizující vliv nízko položeného křídla zřejmě převládá nad vlivem šípu, proto mají křídla dopravních letounů kladné vzepětí, čímž se dosahuje přiměřené míry příčné stability. [17]



Klasické uspořádání ocasních ploch je konstrukčně nejjednodušší a hmotnostně nejvýhodnější, proto není-li důvod použít jiné, volí se právě klasické. Svislá ocasní plocha mívá v dnešní době nejběžnější lichoběžníkový tvar, v případě B737 je doplněna krátkým hřbetním kýlem, a jejím úkolem je zabezpečit letounu dostatečnou míru směrové stability a možnost vyvážení při vysazení motoru na jedné straně. Vodorovná ocasní plocha dopravních letounů, které se obecně vyznačují velkým rozsahem centrází, mívá relativně velkou mohutnost, aby poskytovala dostatečnou stabilitu v různých stavech vyvážení. Běžným jevem u takto těžkých letounů jsou stavitelné VOP, které rozšiřují možnosti vyvážení a zlepšují říditelnost zejména při nízkých rychlostech s vysunutými vztlakovými klapkami. [5] Letouny s šípovými křídly mívají šípové VOP. Půdorysný tvar těchto ploch nemá na jejich funkci zásadní vliv, ale lze jím ovlivnit například aerodynamický odpor. Častým jevem je i vzepětí VOP, jímž lze upravit polohu plochy vůči úplavu za křídlem či motorem.



*Obr. 5 Čelní pohled na Boeing 737-800; pozorujeme kruhový průřez trupu, kladné vzepětí křídla i VOP, vzájemnou polohu motorů a podvozkových noh, resp. křídla a VOP, dále porovnání rozměrů trupu, podvozku, křídla, wingletů a ocasních ploch*

Velké dopravní letouny jsou poháněny proudovými motory, dnes nejčastěji turbodmychadlovými (dvouproudovými), které mají při rychlostech nad 900 km/h nejvyšší účinnost, a tedy nejnižší měrnou spotřebu paliva, ze všech běžně používaných motorů. Z environmentálního hlediska je významná nižší hluková emise zapříčiněná nízkou výtokovou rychlostí. [11] Letouny pro střední tratě mívají dva, letouny pro dlouhé tratě čtyři motory zavěšené na konzolách pod křídly. Dříve se kromě této koncepce používaly také proudové motory zabudované do konstrukce křídla (Obr. 6).



*Obr. 6 Umístění motorů letounu de Havilland DH 106 Comet*

K motoru pod křídlem je však mnohem snazší přístup, což usnadňuje kontrolu a údržbu. Tato koncepce umožňuje použití reverzace tahu a umístění motoru pod a před křídlem navíc příznivě ovlivňuje kroucení křídla za letu a flutter. [4] Na druhou stranu je motor více ohrožen nasátím nečistot ze země a je potřeba dostatečně vysokého podvozku. Ve výsledku ovšem vychází tato koncepce výhodnější, a proto se dnes u dopravních letounů používá výhradně.

V současné době dosluhují stroje pro dlouhé tratě, které jsou vybaveny třetím motorem uloženým v zádi trupu (Lockheed L-1011) či přímo v konstrukci kýlovky (McDonnell Douglas DC-10).



*Obr. 7 umístění třetího motoru v kýlu letounu McDonnell Douglas DC-10*

Jako přistávací zařízení se u dopravních letounů používá zásadně kolový podvozek předového typu. V závislosti na hmotnosti stroje se mění počet kol a počet a konstrukce podvozkových noh. Předový podvozek obvykle představuje jedna noha s jedním párem kol. Letouny pro střední tratě bývají standardně vybaveny dvěma hlavními podvozkovými nohama s jedním párem kol. U těžkých strojů pro dlouhé tratě je situace značně rozmanitější. Obvykle se používají vozíkové podvozky se čtyřmi hlavními podvozkovými nohama po dvou či třech párech kol na každé noze, ale například mnou zvolený reprezentant Airbus A340 je zajímavou výjimkou – má tři hlavní podvozkové nohy (Obr. 8).



*Obr. 8 Uspořádání hlavních podvozkových noh stroje Airbus A340*

Oproti podvozku s ostruhou je předový sice složitější a těžší, má ale řadu rozhodujících výhod, které se projeví zejména v bezpečnosti a komfortu cestujících a posádky. Při brzdění zachytí předová noha klopivý moment a nehrozí tak převrácení letounu na nos, navíc se letoun při dosedání na třetí bod naklání dopředu, čímž se snižuje úhel náběhu a nehrozí odskočení jako u stroje s ostruhou. Poloha hlavních noh za těžištěm letounu zajišťuje směrovou stabilitu při pohybu na zemi. Z hlediska komfortu je velkou výhodou horizontální poloha trupu při pojíždění a stání, což zlepšuje výhled z kabiny, usnadňuje obsluhu i manipulaci s nákladem a cestujícími.

Snad u každé kategorie se najdou stroje, které jsou či byly příkladem zajímavé, nepřiliš používané koncepce. Za extrém vývoje by se dal označit nadzvukový dopravní letoun. Evropský Aérospatiale-BAC Concorde a sovětský Tupolev Tu-144 byly vybaveny zvláštním druhem křídla vyvinutým speciálně pro tyto letouny. Takzvané gotické křídlo vychází z křídla trojúhelníkového, vhodného pro nadzvukové letouny, jehož úpravy měly vést ke snížení odporu při nadzvukové rychlosti a zlepšení letových vlastností při rychlostech nízkých.



Obr. 9 Aérospatiale-BAC Concorde,  
na snímku je patrný půdorysný tvar gotického křídla

Dalším příkladem zajímavého koncepčního prvku je trojitá svíslá ocasní plocha. Toto řešení nebylo ve své době zcela ojedinělé, ale bývá spojováno zejména s letounem Lockheed Constellation vyvinutým počátkem 40. let 20. století. Toto řešení významně zvyšuje hmotnost, neboť nejenže je potřeba bytelnější VOP, která nese SOP, ale také účinnost SOP je nižší a jejich celková plocha tak musí být větší než u jednoduché SOP. Výška kýlovky však určuje celkovou výšku letounu, a právě to byl důvod použití této koncepce u Constellation, která se musela vejít do hangárů již existujících v době jejího vývoje a nasazení. [12]



Obr. 10 Lockheed L-049  
Constellation, nositel trojité  
svíslé ocasní plochy

### 3.2. Transportní letouny

Náklad se letecky přepravuje v zásadě dvěma způsoby: upravenými letouny pro dopravu osob, nebo specializovanými nákladními letouny, dnes často nazývanými transportní. Takovéto stroje nacházejí nejširší uplatnění v armádě, neboť umožňují přepravu mužstva i rozmanitých kusů nákladu bez nutnosti speciálních kontejnerů, palet, ba ani externích nakládacích zařízení. Důraz je kladen zejména na nosnost letounu a objem nákladního prostoru v trupu a dále na rychlost nakládky a vykládky, která je klíčová z hlediska maximální využitelnosti stroje (civilní) a minimalizace ohrožení letounu, který je při pozemních operacích nejzranitelnější (vojenské). Některé z těchto strojů jsou uzpůsobeny k využívání nezpevněných ploch (zejména stroje východní produkce a stroje určené pro vojenské využití) a bývají vybaveny i schopností STOL. Tato práce se omezí na dvě skupiny těchto letounů – těžké rychlé stroje pro dlouhé tratě s proudovými motory a šípovým křídlem a menší, střední transportní letouny, ve vojenském kontextu nazývané taktické, s přímým křídlem a turbopultovými motory určené pro rychlé operační nasazení na krátkých tratích a často schopné shazování nákladu za letu. Jako příklady typických koncepcí jsem zvolil letouny Lockheed C-5 Galaxy a EADS CASA C-295.



Obr. 11 Lockheed C-5B Galaxy



Obr. 12 EADS CASA C-295M

Hovoříme o jednotrupých vícemotorových hornoplošnicích s motory na křídlech, klasickým, křížovým, či T-uspořádáním ocasních ploch a podvozkem předového typu.

Trup je zásadním funkčním prvkem těchto strojů, je nosičem nákladu, a jeho tvar bývá tomuto účelu přizpůsoben. Taktické letouny mívají průřez trupu nejčastěji běžný kruhový, ale těžké letouny bývají z tohoto hlediska zajímavější. Prostor pro posádku se u některých totiž nachází nad nákladním prostorem, mají tedy dvě paluby a průřez trupu vejčitý, neboť prostor nákladu bývá mnohem širší než horní paluba. Dvoupatrové vnitřní uspořádání skýtá jednu specifickou výhodu – trup může být konstruován jako průchozí a umožňuje tak průběžnou paralelní nakládku a vykládku. Za tímto účelem bývá vybaven kromě běžných zadních vrat i předními vraty, nejčastěji v podobě odklápěcího nosu. (Obr. 13) Vejčitý tvar také usnadňuje tvorbu přechodů křídla a trupu. Menší taktické letouny mají jedinou palubu a prostor pro posádku zabírá přední část trupu. Běžným vybavením transportních letounů bývají prostředky pro manipulaci s nákladem – nájezdové rampy, navijáky, jeřábové kočky uchycené u stropu nákladního prostoru a často i konvertibilní podlahové systémy umožňující například použití různých paletových systémů. Z tohoto hlediska bývají tyto stroje soběstačné. Hmotnost trupu je značnou nevýhodou hornoplošného uspořádání obecně. Konstrukce trupu totiž musí být dosti masivní kvůli možnosti

nouzového přistání – při nárazu musí udržet hmotu křídla, které nesmí proniknout do kabiny a ohrozit posádku, zároveň však musí poskytovat dostatečnou ochranu i ze spodní strany, která musí odolat přímému kontaktu se zemí. Zád' trupu se někdy vypíná do výšky nad křídlo z důvodu vhodnějšího umístění ocasních ploch. Na hmotnosti přidávají i již zmiňovaná manipulační zařízení.



*Obr. 13 Lockheed C-5A Galaxy, probíhá nakládka, před' i zád' jsou otevřeny, pozorujeme výrazné záporné vzepětí a ocasní plochy uspořádané do T*

Hornoplošné uspořádání má přes své hmotnostní nevýhody některé vlastnosti, které rozhodují o jeho aplikaci u transportních letounů. Především nosník křídla vůbec neprochází trupem a tedy nijak nenarušuje vnitřní prostor. Trup může být, díky vysoko posazeným motorům, nízko nad zemí a usnadňuje tak nakládání a vykládání. Následkem tohoto je i nižší hmotnost podvozku. Vysoko položené křídlo také méně omezuje pohyb pozemního personálu a techniky kolem letounu a může tak napomáhat zkrácení časů nakládky a vykládky. Za letu křídlo neomezuje výhled dolů. Horní křídlo vykazuje nejvyšší vztlak ze všech tří používaných koncepcí a nižší odpor od interference křídla a trupu než dolní křídlo. [18] Z hlediska příčné stability má vysoko položené křídlo stabilizující účinek. [17]

Taktické letouny bývají osazeny přímým křídlem, často kombinací obdélníkového a lichoběžníkového půdorysu. Lichoběžníkové křídlo má při stejné štíhlosti nižší hmotnost než obdélníkové a také nižší indukovaný odpor. [15] Pro stroje s přímým křídlem a velkým plošným zatížením je typická relativně velká štíhlost křídla, čímž se indukovaný odpor ještě více omezí. [5] Těžké transportní letouny s proudovými motory používají křídlo šípové, jehož vlastnosti byly probrány v části 3.1.

Vysoko položené přímé křídlo poskytuje většinou přiměřenou míru příčné stability a odpadá tak potřeba vzepětí. Díky tomu lze křídlo konstruovat jako průběžné, bez zlomů, čímž se sníží hmotnost. Šípové křídlo rychlých letounů má však mnohdy příliš velký stabilizující účinek, a tak se u těchto strojů setkáváme se záporným vzepětím, které míru příčné stability snižuje na potřebnou hodnotu. [17]

Ocasní plochy hornoplošníků jsou zajímavým problémem. Úplav za křídlem totiž značně snižuje jejich účinnost. Tento problém lze řešit několika způsoby, všechny však vedou ke zvýšení hmotnosti. V případě SOP se jedná o zvětšení jejich plochy, a to až o 25 %. [5] Většina taktických letounů je za tímto účelem vybavena také hřbetním kýlem. U VOP je možností více. Jejich společným znakem je úprava

výškové polohy ocasních ploch vůči křídlu. Jednou z možností je umístění všech ocasních ploch nad křídlo, což je u dolnoplošníků běžné, ale u hornoplošníků se provádí hůře. Přesto najdeme letouny s tímto uspořádáním (de Havilland Canada DHC-4 Caribou). Schůdnějším řešením jsou křížové či T-ocasní plochy, i ty jsou ovšem hmotnostně nevýhodné, neboť je v těchto případech nutná mohutnější konstrukce SOP a složité uchycení VOP. T-uspořádání sice zvyšuje účinnost SOP, ale na druhou stranu díky němu vznikají přídatná indukovaná zatížení, která více namáhají trup. I u VOP transportních letounů se setkáváme s relativně větší plochou než u jiných kategorií. Tvary ocasních ploch se nijak nevymykají standardům. SOP tvoří lichoběžník, VOP lichoběžník, nebo u rychlých letounů šíp. U speciálních transportních letounů konstruovaných k přepravě nákladu na hřbetě se setkáváme se zdvojenými SOP, které jsou voleny proto, aby nebyly stíněny nákladem (Antonov An-225 Mrija).



*Obr. 14 Zdvojená SOP letounu Antonov An-225 je typická pro stroje určené k přepravě nákladu na hřbetě*

Pohon zajišťují dva nebo čtyři motory zavěšené pod křídly. Výjimkou je opět An-225 se šesti motory. Lehčí pomalé letouny bývají v současné době vybaveny turbovrtulovými motory, kdežto těžké rychlé stroje používají dvouproudové motory. Použití konkrétního druhu motoru je dáno určením letounu. Jak řečeno v části 3.1., proudové motory jsou vhodné pro let ve velkých výškách rychlostmi nad 900 km/h. Oproti tomu turbovrtulové motory dosahují nejvyšší účinnosti při rychlostech okolo 600 km/h. Transportní a bombardovací letouny byly první, u kterých byly turbovrtulové motory použity. [11] U některých transportních letounů (An-70) se setkáváme s propfanem, který dosahuje maximální účinnosti při přibližně 900 km/h, a tyto letouny, ač poháněné zařízením vizuálně podobným vrtuli, kvůli dosahovaným rychlostem bývají tvarovány jako letouny s proudovými motory.

Přistávací zařízení transportních letounů bývá konstruováno zásadně jako kolový podvozek příďového typu. Jsou na něj kladeny vysoké nároky, zejména z hlediska dostatečného rozložení hmotnosti. Jak zmiňováno výše, některé stroje jsou schopny provozu i na nekvalitních plochách. Charakteristickým znakem těchto podvozků je velký počet kol, nebo jejich relativně větší průměr. Hlavní podvozek těžkých letounů

bývá často tvořen dvěma řadami podvozkových noh s jedním párem kol (An-124), ale lze nalézt i zajímavější pojetí, jako například u letounu C-5 (Obr. 16). U středních je to obvykle jeden pár speciálních noh nesoucích po dvou kolech relativně velkého průměru. Příďový podvozek středních letounů bývá běžně tvořen jedinou nohou s jedním párem kol, ale u těžkých strojů je situace opět rozmanitější. Setkáváme se zde například se dvěma páry kol na společné ose (Il-76, C-5) (Obr. 15) či se dvěma příďovými nohami (An-124). Popsané varianty podvozků se týkají letounů s přistávacím zařízením uchyceným na trupu. To vyžaduje přítomnost podvozkových gondol, které zvyšují aerodynamický odpor. Hlavní podvozkové nohy uchycené na křídlech jsou u hornoplošníků spíše raritou díky své vyšší hmotnosti a konstrukčním nevýhodám, přesto se s nimi setkáme např. u středních transportních letounů An-26 a An-30, u nichž se zatahují do motorových gondol.



Obr. 15, Obr. 16 Detaily přistávacího zařízení letounu Lockheed C-5A

V rámci kategorie transportních letounů se zmíním o tandemovém podvozku (Obr. 17). Tento typ přistávacího zařízení není příliš rozšířený, neboť má řadu nevýhod a k jeho použití dochází jen ve velmi specifických případech. Jedním z těchto případů je nemožnost zatahování konvenčního podvozku do trupu v oblasti ložného prostoru. Tandemový podvozek to řeší tím, že jeho hlavní nohy nejsou umístěny po stranách trupu, ale v ose letounu před a za ložným prostorem. Stabilitu zajišťují pomocné nohy na koncích křídla (Obr. 19). [5] Tandemový podvozek používá Boeing B-52. Nejedná se sice o transportní letoun, ale jeho určení jakožto bombardéru má s transportními letouny mnoho společného, a také jeho koncepce se v mnohém shoduje s výše popisovanou. Boeing B-52 je vybaven složitější verzí tandemového podvozku, kde hlavní podvozkové jednotky jsou tvořeny dvěma vedle sebe umístěnými nohami (Obr. 18).



*Obr. 17, Obr. 18, Obr. 19 Celková dispozice a detaily tandemového podvozku bombardéru Boeing B-52H*

### 3.3. Obchodní letouny

Tato specifická kategorie slouží k rychlé dopravě malého počtu osob (do devatenácti) na krátké, střední až dlouhé tratě. Obvykle se jedná o obchodní zastoupení různých společností, reprezentanty státních institucí, ale i majetné jednotlivce. Některé stroje slouží po úpravách přepravě pacientů, některé využívají k nejrůznějším účelům armády, některé se používají jako aerotaxi. Hospodárnost těchto letounů je nevalná, neboť poskytují vysokou míru komfortu na úkor počtu pasažérů. [9] Ani pořizovací ceny nejsou příznivé, neboť tyto stroje se obvykle stavějí na zakázku, samy o sobě obchodní letouny tedy také reprezentují své majitele. [8] Při návrhu těchto strojů lze proto očekávat širší uplatnění estetických a módních hledisek.

Původ této kategorie letounů sahá do 50. let 20. století ke stroji Lockheed JetStar, který byl prvním letounem navrženým pro tyto účely. [13] Extrémem této kategorie, který se koncepčně vymyká, jsou upravené dopravní letouny jako například Boeing 737 BBJ.





*Obr. 20 Ilustrace komfortu poskytovaného obchodními letouny –  
– interiér stroje Boeing 737 BBJ*

Za nositele většinové koncepce obchodních letounů jsem zvolil Gulfstream G550, dvoumotorový dolnoplošník se šípovým křídlem, ocasioními plochami uspořádanými do T a kolovým podvozkem předového typu.



*Obr. 21 Gulfstream G550*

Obchodní letouny se koncepčně příliš neliší od středních a velkých dopravních letounů. Je to dáno jejich shodným účelem – přepravou cestujících. I dosahované rychlosti a výšky si odpovídají. Tvar trupu, řešení podvozku i nosných ploch jsou v podstatě stejné. Používají i stejný typ motorů – dvouproudové. Jediný podstatný rozdíl spočívá v rozměrech letounů a v umístění motorů. Od toho se odvíjejí drobné koncepční změny, které nakonec tyto stroje vzhledově velmi odliší od dopravních. Právě těmto rozdílům bych se v této části věnoval zejména.

Křídlo dolnoplošníků takto malých rozměrů se nachází příliš nízko nad zemí pro umístění motorů, ty byly proto uloženy na pylony či do gondol po stranách zadní části trupu. Obvykle jsou motory dva, každý po jedné straně trupu, ale například zmiňovaný Lockheed JetStar poháněly čtyři motory. Toto řešení používaly i dopravní Iljušiny Il-62, ale dnes se s ním prakticky nesetkáme. Existují i stroje se třemi motory. (Obr. 22) Důsledkem umístění motorů je úprava uspořádání ocasních ploch. VOP se nemohou nacházet ve výtokových proudech motorů. Nejčastějším řešením je uspořádání ocasních ploch do T, o jehož vlastnostech se zmiňuji v části 3.2.

Dalším důsledkem polohy motorů je obvykle výrazně delší část trupu před křídlem. Ovlivňuje se tím poloha těžiště letounu.

Křídlo obchodních letounů nenese motory, a proto může být konstrukčně i tvarově jednodušší a obecně méně robustní. Obvykle mu dominují prostředky pro snížení indukovaného odporu, jež na těchto strojích vyniknou více než na dopravních, které jsou jimi dnes také běžně vybaveny. Nejběžnější jsou winglety (Obr. 21), ale lze se u této kategorie setkat i s řešeními méně obvyklými a nákladnějšími, jako jsou například *spiroid tips*, ovšem dodnes spíše ve stádiu testování.



Obr. 22 Spiroid tips instalované na letounu Dassault Falcon 50

I u této kategorie uvedu příklad neobvyklé koncepce. Jedná se o letoun Piaggio P.180 Avanti (Obr. 23). Je to středoplošník s křídlem umístěným za kabinou vybavený kromě T-ocasních ploch ještě kachními plochami, které jsou typické pro bezocasé letouny. Tato konfigurace umožňuje vytváření vztlaku na všech třech vodorovných plochách tohoto letounu, zatímco VOP konvenčních letounů musejí vyvozovat sílu působící dolů. Byla patentována jako *Three-Lifting-Surface Configuration*. Kromě netypického uspořádání vodorovných ploch se zmiňovaný stroj vyznačuje i trupem proměnného průřezu, který se svým tvarem blíží leteckému profilu a podle tvrzení výrobce vytváří až 20 % celkového vztlaku. Pohání jej dvojice turbovrtulových motorů v tlačném uspořádání uložených na horní ploše křídla. [14]



Obr. 23 Piaggio P.180 Avanti

### 3.4. Sportovní letouny

Název kategorie dává jasně najevo, jakému účelu tyto stroje slouží. Jejich specifické použití při sportovních aktivitách se však různí a od toho se odvíjejí požadavky na konkrétní letouny a jejich provedení. Vyzdvihl bych zejména dvě skupiny těchto letounů – lehké sportovní letouny pro rekreační létání a speciální letouny akrobatické, které jsou ve své podstatě vrcholovým sportovním nářadím.

U lehkých sportovních letounů se předpokládá, že je budou vlastnit a provozovat jednotlivci, či malé společnosti. Dominantním požadavkem na tyto stroje jsou proto především nízké náklady, a to zejména pořizovací, což je nejmarkantnější u lehkých rekreačních letounů. Důsledkem je snaha o co nejlehčí, nejjednodušší a nejlevnější konstrukci. Opakem jsou přirozeně letouny akrobatické, jež jsou osazeny výkonnými motory, jejich konstrukce musí snést vysoké násobky zatížení a jejich aerodynamické řešení odpovídá specifickým požadavkům na obratnost.

Většinou se jedná o dolnoplošníky s obdélníkovým křídlem, jedním pístovým motorem uloženým v přídí, klasickými ocasními plochami a pevným kolovým podvozkem záďového či příďového typu. TL-96 STAR je celokompozitový ultralight české výroby, který je schopen i vlečení a poslouží jako příklad lehkého sportovního letounu s příďovým podvozkem. Jako zástupce akrobatických letounů volím stroj kategorie Unlimited Extra EA-300.



Obr. 24 TL ULTRALIGHT TL-96



Obr. 25 Extra EA-300L

Trup sportovních letounů nese motor, ocasní plochy a posádku, která sestává často maximálně ze dvou osob. Většinou je k trupu uchycen i podvozek a v některých případech se uvnitř trupu nachází palivová nádrž. Průřez trupu nebývá kruhový jako u větších letounů, ale většinou oválný, jehož rozměry i tvar se po délce mění. Rozměry trupu podléhají snaze o minimalizaci jeho odporu, a tak často pilotní prostor celému trupu výrazně dominuje, jelikož jeho rozměry jsou dány ergonomií a nelze je příliš ovlivnit.

Křídlo rekreačních letounů je obvykle umístěno v dolní části trupu, ale výjimkou není ani hornoplošné uspořádání. U něj bývá křídlo kromě uchycení na střeše kabiny ještě podepřeno výztuhami připojenými ke spodní části trupu, často v místech uchycení podvozku. Obdélníkové křídlo, většinou aplikované u lehkých sportovních letounů, není hmotnostně nejvýhodnější. Má i velký indukovaný odpor, ale jeho výroba je méně technologicky a tedy i finančně náročná. Kromě toho se u takového stroje počítá s tím, že jej bude ovládat nepříliš zkušený (rekreační) pilot, a zřejmě i toto hledisko hovoří ve prospěch křídla obdélníkového, jež má příznivé pádové vlastnosti. K odtržení proudu při přetažení u něj dochází u kořene křídla, křídélka tedy nejsou zpočátku zasažena a letoun zůstává ovladatelným. Navíc víry vzniklé odtržením proudu zasáhnou VOP a způsobí vibrace výškového kormidla, které pilot cítí v řízení, a poslouží mu jako varování před pádem. [15]

Akrobatické letouny podléhají specifickým požadavkům svých sportovních kategorií ale koncepčně se od sebe příliš neliší. Jejich křídlo bývá nejčastěji lichoběžníkové. Najdeme mezi nimi dolnoplošníky (Zlín Z-50, Obr. 26) i středoplošníky (Extra EA-300). Specialitou křídla akrobatických letounů je symetrický profil a nulový úhel nastavení, čímž se zajišťují stejné letové vlastnosti v běžné pozici i na zádech. Konstrukce akrobatických speciálů mívá vysokou pevnost a tuhost, musí odolávat násobkům zatížení přesahujícím  $n = 10$ , a to v kladném i záporném směru.



Obr. 26 Úspěšný tuzemský akrobatický letoun Zlín Z-50L

Mezi akrobatickými letouny se také dodnes setkáváme s dvojplošníky (Aviat Eagle II). Vícekřídle uspořádání totiž poskytuje vyšší vztlak při menším rozpětí, čehož důsledkem je lepší obratnost. Nevýhodou je interference mezi křídly a značný odpor. I mezi lehkými sportovními letouny lze dvojplošník nalézt (Aviasud Mistral).



*Obr. 27 Akrobatický dvojplošník Aviat (Christen) Eagle II*

Se vzepětím křídla se setkáváme běžně u dolnoplošných sportovních letounů, ovšem hornoplošník je zapotřebí nemají. U akrobatických letounů je v zájmu obratnosti přílišná stabilita nežádoucí, zřejmě proto vzepětí nepozorujeme ani u těch dolnoplošných.

Ocasní plochy bývají uspořádány klasicky. U těchto letounů není důvod je konfigurovat jinak. Jen u hornoplošníků lze očekávat větší plochu SOP (bývají doplněny hřbetním kýlem), ale výšková poloha VOP vůči křídlu, daná tvarem trupu, není na závadu – nacházejí se pod úrovní křídla. Tvar ocasních ploch bývá běžně lichoběžníkový, lze se setkat i s obdélníkovými VOP. Některé současné ultralighty jsou vybaveny plovoucími VOP, které nejsou u pomalých letounů obvyklé, neboť při nízkých rychlostech neposkytují rozhodující výhody. Tuzemský výrobce TL ULTRALIGHT však tvrdí, že plovoucí VOP použité na jeho letounu TL-96 přispívají ke snížení aerodynamického odporu. [7] Některé sportovní letouny jsou vybaveny motýlkovými ocasními plochami (Robin ATL, *Obr. 28*). Taková koncepce je vzhledově atraktivní, hmotnostně úsporná a vykazuje i nižší aerodynamický odpor. Vyžaduje však speciální zařízení pro koordinaci pohybu kormidel a namáhá zadní část trupu přidavnými momenty.



*Obr. 28 Robin ATL – lehký sportovní letoun vybavený motýlkovými ocasními plochami*

Pohon sportovních letounů zajišťují výlučně pístové motory s vrtulí, většinou v tažném uspořádání. Najdou se i lehké sportovní letouny s motorem a vrtulí na zádi v uspořádání tlačném, ty se však koncepčně značně odlišují, proto se o nich pouze zmiňuji. Tažné uspořádání je vhodnější, protože vrtule není ničím stíněna. Pístový motor je ze všech nejspolehlivější a především je nejvhodnější pro velmi nízké rychlosti, kterými se sportovní letouny pohybují (cca do 300 km/h). Snadno se ovládá, má rychlou odezvu a je nenáročný na údržbu a kvalitu paliva.

Jako přistávací zařízení sportovních letounů se používá kolový podvozek původně záďového, dnes často příďového typu. V naprosté většině případů se jedná o nezatažitelný podvozek – důvod je zřejmý – hmotnostní úspora a velmi malé rychlosti letu. Dodnes se používá podvozek záďového typu, neboť poskytuje řadu konstrukčních výhod. Ostruha letounu je méně zatížená než příďová noha a při brzdění se ještě nadlehčuje, bývá velice krátká, hmotnostně tedy záďový podvozek vychází lépe než příďový. Menší zatížení ostruhy má za následek i menší namáhání trupu, a proto i jeho konstrukce může být lehčí. Konstrukce ostruhy je jednodušší, a tudíž levnější než u příďové nohy. Záďový podvozek skýtá určitou výhodu při startu a přistání – při přistání letoun dojíždí při velkém úhlu náběhu a má tedy velký aerodynamický odpor, který usnadňuje brzdění a zkracuje dojezdovou dráhu. Při startu zase poskytuje úhel náběhu vyšší součinitel vztlaku, čímž se odlehčí podvozek a zkrátí se rozjezd – tato výhoda se projevuje více na travnatých plochách.

Záďové podvozky však mají i několik nevýhod. Při pojíždění směřuje nos letounu výrazně vzhůru, což znemožňuje výhled z kabiny dopředu. Při intenzivním brzdění hrozí překlopení letounu na nos (především na betonových drahách). Díky poloze těžiště za hlavními nohami je tento podvozek směrově nestabilní. Další nevýhodou je sklon letounu k tzv. odskočení. Pokud pilot dosedne nejdříve na hlavní nohy a následně nechá klesnout ocas, dojde ke zvýšení úhlu náběhu křídla, tím i součinitele vztlaku, a letoun má tendenci se opět vznést. Nutno proto přistávat důsledně na tři body. [5]

Jak je vidět, podvozek záďového typu přes svoji jednoduchost a ekonomickou výhodnost klade značné nároky na pilota. Možná právě to je příčinou stále širšího výskytu příďových podvozků u sportovních letounů. Podvozky příďového typu všechny výše popsané nevýhody nemají.

### 3.5. Užitékové letouny

Charakterizovat jednoznačně kategorii užitékových letounů je velmi komplikované. Logicky do ní totiž spadají letouny mnohých jiných kategorií. Z kategorií zmiňovaných v této práci by mezi užitékové letouny bylo možné zařadit všechny kromě sportovních a bojových. Z toho vyplývá, že nalezení převládající koncepce je v této kategorii prakticky nemožné. Využijí ji proto tak, abych zde mohl popsat řešení některých letounů pro speciální aplikace.

#### 3.5.1 Zemědělské letouny

Jedná se o stroje určené k postřikování a práškování zemědělských ploch ze vzduchu. Pohybují se nízkou rychlostí v malých výškách, nesou zásobu pracovní látky a jsou vybaveny zařízeními pro její distribuci (rozprašovači, atomizéry). Mnohdy se k zemědělským činnostem používají upravené víceúčelové letouny – jedná se o levnější variantu tam, kde není potřeba špičkových výkonů specializovaných strojů. Samotné určení zemědělských letounů je činí schopnými hašení ze vzduchu a mnohdy jsou hasičskými sbory provozovány.

Z hlediska koncepce hovoříme nejčastěji o jednomotorových vrtulových dolnoplošnicích s ostruhovým podvozkem, přímým křídlem a klasickými ocasními plochami. Pro ilustraci poslouží americký Air Tractor AT-802 a tuzemský Zlín Z-37.



Obr. 29 Air Tractor AT-802A



Obr. 30 Zlín Z-37A Čmelák

Dolnoplošné uspořádání doprovázené často vysoko posazenou kabinou je voleno zejména kvůli zajištění dobrého výhledu. Výhled kupředu zajišťuje výšková poloha kabiny a svažující se přední kapota. Výhled do stran umožňuje nízko položené křídlo, které při náklonu odkrývá vnitřní prostor zatáčky (zatímco horní křídlo by jej zakrylo). Toto se stalo normou po mnohých negativních zkušenostech, kdy letouny pohybující se nízko nad zemí přišly do kontaktu se stromy, budovami či elektrickým vedením kvůli tomu, že pilot měl omezený výhled dovnitř zatáčky. [5]

Půdorysný tvar křídla se různí. Výhodnější je lichoběžníkový, ale mnou zmiňovaný AT-802 používá křídlo obdélníkové. Zřejmě díky jeho příznivým pádovým vlastnostem, jejichž význam při nízkých pracovních rychlostech zemědělských strojů roste. Z-37 má obdélníkový centroplán a vnější křídlo lichoběžníkové.

Kladné vzepětí je u těchto dolnoplošníků samozřejmostí. Z-37 je z tohoto hlediska zajímavý, neboť používá takzvané vzepětí do U. Centroplán je konstruován jako přímý a k němu je připojeno vzepjaté vnější křídlo. Je to výhodné z konstrukčního hlediska, protože nosníky v centroplánu i v křídlech nemají zlomy. Na koncích centroplánu jsou uchyceny i hlavní podvozkové nohy, čímž je zajištěn jejich značný rozchod, a při tom nejsou zatíženy od podvozku namáhány úchyty křídla. [4]

Podvozek záďového typu se u těchto strojů používá od počátku dodnes. V jeho prospěch hovoří jeho jednoduchost a hmotnostní výhoda a také to, že výhody předového podvozku se u letounu s vyšším užitečným zatížením operujícího na travnatých plochách eliminují. Vyšší nároky ostruhového podvozku na pilota jsou u zemědělských strojů irelevantní, neboť pilotáž v přízemních letech nízkou rychlostí sama o sobě vyžaduje pilota zručného a zkušeného.

Pohon zajišťuje vrtule poháněná původně pístovým motorem uloženým v předí letounu. V současné době se u zemědělských letounů vyskytují stále častěji motory turbovrtulové. Dokladem je jak Z-37, tak i stroje značky Air Tractor – původně byly vybaveny hvězdicovými motory, a později se objevily turbovrtulové verze. Důvodem nasazení turbínových motorů je zřejmě požadavek vyššího výkonu, a tím vyššího užitečného zatížení.

### 3.5.2. Vodní letouny

Specifickou skupinou letounů jsou stroje schopné startu a přistání na vodní hladině. Dělí se na několik podskupin. Především na hydroplány a obojživelné letouny (amfibie). Hydroplán je schopen přistání pouze na vodní ploše, kdežto amfibie, jak název napovídá, může operovat i ze souše.



*Obr. 31 Vodní verze víceúčelového letounu de Havilland Canada DHC-2*

Hydroplány lze ještě rozdělit na stroje vybavené pouze plováky a letouny přistávající přímo na trup, které jsou nazývány létajícími čluny. Právě létající čluny zažily obrovský rozmach v období mezi světovými válkami. Sloužily především nákladní a osobní dopravě a často dosahovaly značných rozměrů a hmotností.





Bundesarchiv, Bild 102-12063  
Foto: o. Ang. | Januar 1932

*Obr. 32 Dornier Do X, v době svého vzniku největší létající člun světa; pozorujeme motory na pylonech na horní ploše křídla, kromě toho se jedná o sesquiplán – kompromis mezi jedno- a dvojplošníkem – u nějž je navíc dolního křídla využito jako stabilizačního plováku*

V současnosti se setkáváme převážně se středně velkými amfibiiemi a s lehkými víceúčelovými letouny, jejichž kolový podvozek byl nahrazen plovákovým. Vodní letouny nacházejí uplatnění jako dopravní a nákladní v pobřežních a ostrovních oblastech a při pracích spojených s vodou. Speciální skupinou jsou tzv. vodní bombardéry (Obr. 33). Jedná se o amfibie schopné rychlého nabírání vody stylem *touch-and-go* a používají se k hašení rozsáhlých požárů (Bombardier 415).



*Obr. 33 Bombardier 415 (Canadair CL-415)*

Vodní letouny, ať specializované či odvozené, jsou téměř výhradně hornoplošníky. Vícemotorové mají pohonné jednotky uložené na křídlech a je tak zajištěna dostatečná vzdálenost motorů od hladiny. Motory nebývají podvěšeny pod křídlem, ale ukládají se na jeho horní plochu, někdy však ani tato výška nestačí. Řešení tohoto problému existuje více. Nejstarší je umístění motorů na konstrukci na horní ploše trupu, případně i křídla (typické pro stroje značky Dornier). Z koncepčního hlediska zajímavější je řešení použité na stroji Berijev Be-12. Setkáváme se u něj se vzepětím do M, které zajišťuje umístění křídla a motorů až nad úroveň vršku trupu (Obr. 34). Létající čluny mají na křídlech umístěny také stabilizační plováky.



Obr. 34 Létající člun Berijev Be-12

Rozlišujeme i dva druhy amfibií. Jedním druhem jsou letouny jako amfibie navržené, jež používají koncepci létajících člunů, a druhým obojživelné letouny vzniklé úpravou lehkých víceúčelových. U amfibií se setkáváme s různým řešením kolového podvozku. Hlavní podvozkové nohy Bombardieru 415 se zatahují do bočních stěn trupu (Obr. 33), zatímco amfibie značky Berijev používají dlouhé podvozkové nohy uchycené na křídle poblíž trupu, které se zatahují do gondol tvořených mohutným centroplánem. Příklad řešení kolového podvozku odvozených amfibií ukazuje Obr. 35.

Specifickou oblastí je trup létajících člunů. Musí snést hydrostatické i hydrodynamické namáhání a tíhu celého stroje. Jeho tvar ovlivňuje nejen chování letounu při pohybu po hladině, ale upravuje se jím i rozstřík vody. Zatímco přední část trupu je vydutá a hladká, zadní část bývá tvořena jednoduššími plochami a nachází se na ní schodovité přechody, které usnadňují odtržení letounu od hladiny. Stejně tvarové schéma se používá i u plováků. [4]



Obr. 35 Obojživelné přistávací zařízení na letounu AT-802A

### 3.5.3. Víceúčelové letouny

Najít specifickou koncepci víceúčelových letounů není možné. Víceúčelové letouny nejsou vyvíjeny na základě konkrétních požadavků, ale v zásadě se jedná o letouny s prostornou kabinou, která může sloužit dopravě nákladu i osob, a výkonnou vrtulovou pohonnou soustavou, která umožňuje používat letoun k nákladním a jiným účelům vyžadujícím vyšší užitečné zatížení či provoz v nepříznivých podmínkách. Často se používá dvoumotorová hornoplošná koncepce lehkého transportního letounu, která nijak neomezuje jiné možnosti využití stroje. Další rozšířenou koncepcí je lehčí jednomotorový vzpěrový hornoplošník. Průřez trupu bývá přibližně obdélníkového tvaru. Známým představitelem víceúčelového letounu je Antonov An-2, jenž je využíván po celém světě k dopravním, nákladním, požárním, sanitním, zemědělským, vědeckým či sportovním účelům, s podvozkem kolovým, plovákovým i lyžovým.

Víceúčelové letouny bývají často objektem úprav, které je přizpůsobují konkrétním účelům. Jedná se o zástavbu speciálních zařízení, přístrojů, vybavení kabiny či úpravy přistávacího zařízení. Již jsem zmínil jejich využití k zemědělským účelům i konverze na hydroplány. U hydroplánů dochází k nahrazení všech podvozkových noh dvojicí plováků spojených navzájem i s trupem trubkovou konstrukcí. Další specialitou je lyžový podvozek. Spočívá v nahrazení kol lyžemi. Zůstává zachována konfigurace podvozkových noh i jejich odpružení, říditelnost a brzditelnost, lyže však obvykle znemožňují jejich zatahování. Někdy se používá kompromisní řešení, kdy je letoun vybaven zároveň lyžemi i koly. Hmotnostně méně výhodné, ale zato univerzálnější. [4]



Obr. 36, Obr. 37 Varianty lyžového podvozku

### **3.6. Bojové letouny**

Vojenství je motorem pokroku v mnoha průmyslových odvětvích, ale v letectví to platí dvojnásob. Letadla našla širší uplatnění poprvé během první světové války a než skončila, tyto stroje se od základu změnily. Historie bojových letounů a jejich koncepcí by vystačila na celou práci, omezím se proto na současný stav vývoje a z historie uvedu jeden letoun, který svým určením a koncepcí výrazně vyčnívá z řady.

Pro představu o koncepci moderních bojových letounů může sloužit lehký víceúčelový stíhací letoun Saab JAS 39 Gripen, jenž používají i české vzdušné síly. Jedná se o nadzvukový letoun, proto se od dosud probíraných letounů zásadně

odlišuje. Hovoříme o jednotrupém středoplošníku s trojúhelníkovým (delta) křídlem a plovoucími kachními plochami, s dvouproudovým motorem uloženým v zádi trupu a kolovým podvozkiem příďového typu.



Obr. 38 Charakteristická silueta letounu Saab JAS 39 Gripen

Nejmarkantnějším znakem moderních nadzvukových letounů je trojúhelníkové křídlo. Z hlediska tvarových charakteristik jej lze označit za opak křídla podzvukových letounů. Má malou štiřlost, značnou hloubku, malou relativní výšku profilu a ostrou náběžnou hranu. Důvodem jeho aplikace je snaha o minimalizaci odporu, zvýšení kritického Machova čísla a příznivější chování v transsonické oblasti. Daní za tyto výhody je nízký vztlak a s tím související vysoký kritický úhel náběhu. Obecně lze prohlásit, že křídlo pro supersonické rychlosti má nevhodné vlastnosti v subsonické oblasti a naopak. [2] [16]

Středoplošné uspořádání je výhodné z hlediska interference křídla a trupu. Vykazuje nejnižší indukovaný odpor ze všech tří používaných možností. Interference mezi křídlem a trupem nabývá značného významu v supersonické oblasti, zejména v kombinaci s křídlem malé štiřlosti. Důsledkem je tzv. pravidlo ploch, které hovoří o vzájemném sladění tvaru křídla a trupu. Problém nastává v oblasti konstrukce, kdy není snadné přenést síly od závěsů křídla a zároveň nenarušit vnitřní prostor trupu průběžným nosníkem. [2] [4]

Místo VOP se dnes pro své četné výhody používají kachní plochy. Především odpadají problémy s umístěním ploch vůči úplavu a sešikmenému proudu za křídlem. Stabilizující síla směřuje nahoru, přispívá tedy také ke vztlaku, narozdíl od klasické VOP. Kachních ploch lze využít kromě stabilizace a řízení též k ochraně před přetažením, či jako brzdících ploch při přistání. Standardem nadzvukových letounů jsou dnes plovoucí vodorovné plochy. Se vzrůstající nadzvukovou rychlostí totiž dramaticky klesá účinnost klasických řídicích ploch a plovoucí toto kompenzují. [2]

Vliv koncepce na stabilitu má u moderních stíhačů menší význam než u konvenčních letounů. Míra stability je vyvozována uměle za pomoci nejrůznějších řídicích prvků v kombinaci s elektroimpulzním řízením, které je dnes již také samozřejmostí. Obvykle se takovéto letouny v zájmu obratnosti stavějí jako inherentně mírně nestabilní, což se může projevit například záporným vzepětím. [10]

Pohon stíhacích letounů dnes běžně zajišťují dvouproudové motory. Dříve tomu tak nebylo, neboť převládala snaha o co nejvyšší rychlost, což hovořilo ve prospěch motoru jednoproudového, který se vyznačuje značnou spotřebou a hlučností. Dnes

se požadované rychlosti pohybují v pásmu nižších nadzvukových (cca do  $M = 2$ ), což společně s pokrokem ve vývoji dvouproudových motorů má za následek jejich použití i u nadzvukových letounů. Z hlediska koncepce jsou zajímavé vstupy vzduchu k pohonné jednotce. U nadzvukových letounů bývají vybaveny zařízeními, která ovlivňují průběh rázových vln na ústí vstupu. Dříve to byly kužely, dnes častěji výklopné segmenty. Gripen však toto zařízení postrádá. [11] [2]



*Obr. 39 Eurofighter Typhoon; snímek odhaluje kromě plovoucích kachních ploch také řešení podvozku a vstupů vzduchu k pohonným jednotkám*

Podvozek příďového typu je dnes standardem u většiny kategorií letounů, a bojové nejsou výjimkou. Někdy u nich vyvstává problém s umístěním podvozkových šachet, zejména pokud se vstupy vzduchu nacházejí na spodní straně trupu. Kromě toho musejí být podvozkové nohy relativně dlouhé – jednak kvůli vysokému úhlu náběhu při přistání, jenž je způsoben trojúhelníkovým křídlem, jednak kvůli možnosti podvěšení výzbroje a přídatných nádrží. Problematické bývá i uchycení hlavních podvozkových noh v nízké konstrukci křídla. Následkem těchto problémů je vyšší složitost a hmotnost přistávacího zařízení.

Původní záměr věnovat se více historii bojových letounů nahradím zmínkou o letounu Messerschmitt Me 163 Komet. Tento lehký přepadový stíhací letoun, který se objevil na sklonku druhé světové války je výjimečný koncentrací neobvyklých koncepčních prvků.



*Obr. 40 Replika letounu Me 163B-1a*

Na první pohled zaujme šípové křídlo (jedná se o kluzák) a absence vodorovných ocasních ploch. Další zajímavostí je nepřítomnost konvenčního kolového podvozku. Letoun startoval s pomocí odhazovacího vozíku a přistával na zatahovací kovové lyži na spodní straně trupu. Jediným pozůstatkem podvozku bylo ostruhové kolo. Toto řešení je důsledkem malých rozměrů letounu – pro zatažitelný kolový podvozek, stavěný na vysoké přistávací rychlosti, uvnitř trupu nezbylo místo.

Pohon zajišťoval raketový motor, který používal velmi nestabilní palivo, jež bylo příčinou většiny tragických událostí, které se s těmito stroji přihodily. Raketový motor má obrovskou spotřebu a omezená zásoba paliva vystačila pouze na 7,5 minuty. Proto se motor používal jen k prudkému vystoupení a dále se letoun pohyboval klouzavým letem. Tímto stylem měl přepadat spojenecké bombardéry nad Evropou. Klouzavý let v kombinaci s přistávací lyží činil náročný úkol zejména z přistání, které nezhřídkou skončilo zraněním pilota.

I přes svou neblahou pověst a nevalné úspěchy v bojovém nasazení se tento letoun vyznačoval skvělou ovladatelností, nízkým aerodynamickým odporem a i v klouzavém letu dosahoval rychlostí přes  $M = 0,8$ . [1] [3]

## 4. Závěr

Cílem této práce bylo zjistit, jak souvisí koncepce letounu s kategorií, do které jej řadíme. Zdali a jak se jednotlivé koncepční prvky navzájem ovlivňují a jaký mají vliv na výsledné vlastnosti letounu. Zdali je možné označit některou koncepcí za nejlepší. Nalézt důvody použití konkrétní koncepce u konkrétního letounu či kategorie.

Dospěl jsem k závěru, že koncepce letounu je přímým důsledkem požadavků na letoun kladených, a tedy úzce souvisí s jeho zařazením do kategorie. Primárním požadavkem je, aby zvolená koncepce umožňovala letounu vykonávat funkce, jaké se od něj očekávají, tedy dominuje provozní hledisko. Provozní hledisko ovlivňuje nejvíce ty nejmarkantnější koncepční prvky – počet a umístění nosných ploch, tvar trupu, druh a počet pohonných jednotek, typ přistávacího zařízení. Hledisko aerodynamické, konstrukční a technologické má největší vliv na detaily výše zmíněných prvků, kupříkladu na geometrii křídla či řešení ocasních ploch. Z požadavků dané kategorie plyne samotná existence většinové koncepce. Jsou-li tyto požadavky konkrétní a vyhraněné, je pravděpodobné, že bude možné nalézt konkrétní koncepcí, která je nejlépe splňuje. Příkladem mohou být transportní letouny. Příkladem nevyhraněné koncepce zapříčiněné nevyhraněnými požadavky je kategorie víceúčelových letounů, kde jedinou převládající koncepcí nalézt nelze.

Jednotlivé koncepční prvky mají značný vliv na vlastnosti letounu jako celku, nicméně mnohdy nelze o konkrétním prvku prohlásit, je-li vhodný či nevhodný, bez znalosti dalších koncepčních prvků. Takřka všechny prvky se navzájem ovlivňují, zejména stran aerodynamiky a konstrukce. Jako příklad uvedu tvrzení „Podvozkové nohy uchycené na křídle jsou výhodné.“ Toto nelze prohlásit, pokud není známo, je-li letoun dolnoplošník, či hornoplošník. Kromě toho řada požadavků na letoun je protichůdných, a také například jeden, z určitého hlediska výhodný, prvek má nepříznivý vliv na další prvky. Důsledkem je fakt, že výsledná koncepce je kompromisem mezi jednotlivými požadavky a vlivy, a teprve výsledný dojem a vlastnosti letounu jako celku lze objektivně hodnotit.

Všeobecně vzato nelze jednu konkrétní koncepcí označit za nejlepší. Rozhoduje hledisko, z jakého toto hodláme posuzovat. Některé řešení může být výhodné z aerodynamického hlediska, ale z hlediska konstrukčního je nepříznivé, neboť způsobí zvýšení hmotnosti letounu jako celku (tento příklad odpovídá hornoplošnému uspořádání). Konkrétní koncepcí lze však označit za nejlepší v dané kategorii, neboť ze všech možných splňuje požadavky své kategorie nejlépe. Lze předpokládat, že pokud existuje v dané kategorii většinová koncepce, je výsledkem dlouhých let výzkumu, vývoje a omylů a je to právě ta nejlepší možná. Lze tedy očekávat, že tyto léty prověřené koncepce se budou používat i v budoucnu.

Přínos této práce spatřuji v tom, že shrnuje požadavky na jednotlivé kategorie letounů a zdůvodňuje použití z nich vyplývajících koncepcí. Ukazuje příklady kombinací jednotlivých koncepčních řešení na reálných letounech a jejich vlastnostech. Přínos pro mou osobu spočívá zejména v rozšíření obzorů v oblasti návrhu letounu, ve zjištění, jaké faktory mají při návrhu letounu rozhodující vliv. Uvědomění si, že vše souvisí se vším, že i zdánlivé detaily mohou mít značný význam a že vše dohromady musí splňovat co nejlépe původní požadavky. Dále jsem získal přehled v používaných koncepčních řešeních a jejich vlivech na vlastnosti letounů, který jistě bude ku prospěchu v dalším studiu i v praxi.

## 5. Seznam použitých zdrojů

### 5.1. Tištěné zdroje

- [1] BROWN, Eric. *Křídla Luftwaffe*. 1. vyd. Plzeň: Laser - books s.r.o., 1998. 176 s. ISBN 80-7193-036-9,
- [2] DANĚK, Milan. *Aerodynamika a mechanika letu rychlých letounů*. 1. vyd. Praha: MNO, 1968. 242 s.,
- [3] GREEN, William, SWANBOROUGH, Gordon. *Encyklopedie stíhacích letounů*. 1. vyd. Praha: Svojtka & Co., 2002. 608 s. ISBN 80-7237-341-2,
- [4] MERTL, Vlastimil. *Konstrukce a projektování letadel*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, PC-DIR Real, s.r.o., 2000. 133 s. ISBN 80-214-1789-7,
- [5] PRACHAŘ, Josef. *Konstrukce a projekt letounu: Předběžný návrh letounu a jeho částí*. 1. vyd. Brno: VAAZ, 1961. 154 s.,
- [6] RENDALL, David. *Jane's Letadla: Příručka pro rozpoznávání*. 1. vyd. Praha: JAN VAŠUT s. r. o., 1999. 511 s. ISBN 80-7236-078-7,
- [7] *TL-96 STAR Letová a provozní příručka*. Hradec Králové: TL ULTRALIGHT, 2000. 50 s.

### 5.2. Internetové zdroje

- [8] *Business jet - Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. Poslední aktualizace 16. 5. 2011 [citováno 19. 5. 2011]. Dostupné z: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Business\\_jet](http://en.wikipedia.org/wiki/Business_jet)>,
- [9] *Concorde - Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. Poslední aktualizace 13. 5. 2011 [citováno 19. 5. 2011]. Dostupné z: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Concorde>>,
- [10] *Fourth generation jet fighter - Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. Poslední aktualizace 12. 5. 2011 [citováno 19. 5. 2011]. Dostupné z: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Fourth\\_generation\\_jet\\_fighter](http://en.wikipedia.org/wiki/Fourth_generation_jet_fighter)>,
- [11] KUSSIOR, Zdeněk. *Teorie leteckých motorů - Typy leteckých motorů* [online]. Publikováno 24. 4. 2002 [citováno 19. 5. 2011]. Dostupné z: <<http://www.leteckemotory.cz/teorie/teorie-02.php>>,
- [12] *Lockheed Constellation - Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. Poslední aktualizace 18. 5. 2011 [citováno 19. 5. 2011]. Dostupné z: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed\\_Constellation](http://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed_Constellation)>,



- [13] *Lockheed JetStar - Wikipedia, the free encyclopedia* [online].  
Poslední aktualizace 29. 3. 2011 [citováno 19. 5. 2011].  
Dostupné z: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed\\_Jetstar](http://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed_Jetstar)>,
- [14] *Piaggio P.180 Avanti - Wikipedia, the free encyclopedia* [online].  
Poslední aktualizace 27. 4. 2011 [citováno 19. 5. 2011].  
Dostupné z: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Piaggio\\_P.180\\_Avanti](http://en.wikipedia.org/wiki/Piaggio_P.180_Avanti)>,
- [15] SLAVĚTÍNSKÝ, Dušan. *Půdorysný tvar křídla* [online].  
Poslední aktualizace 25. 4. 2010 [citováno 19. 5. 2011].  
Dostupné z: <[http://www.slavetind.cz/stavba/koncepce/Koncepce1\\_4.aspx](http://www.slavetind.cz/stavba/koncepce/Koncepce1_4.aspx)>,
- [16] SLAVĚTÍNSKÝ, Dušan. *Vlastnosti a použití šípových křídel* [online].  
Poslední aktualizace 25. 4. 2010 [citováno 19. 5. 2011]. Dostupné z:  
<<http://www.slavetind.cz/stavba/konstrukce/kridlo/SipoveKridlo-vlastnosti.aspx>>,
- [17] SLAVĚTÍNSKÝ, Dušan. *Vliv geometrie křídla na příčnou stabilitu letounu*  
[online]. Poslední aktualizace 25. 4. 2010 [citováno 19. 5. 2011]. Dostupné z:  
<[http://www.slavetind.cz/stavba/Mechanika/Vliv\\_geom\\_kr\\_na\\_pric\\_stab.aspx](http://www.slavetind.cz/stavba/Mechanika/Vliv_geom_kr_na_pric_stab.aspx)>,
- [18] SLAVĚTÍNSKÝ, Dušan. *Vliv výškové polohy křídla na poláru letounu* [online].  
Poslední aktualizace 25. 4. 2010 [citováno 19. 5. 2011]. Dostupné z:  
<[http://www.slavetind.cz/stavba/Aerodynamika/Vys\\_pol\\_kr-polara.aspx](http://www.slavetind.cz/stavba/Aerodynamika/Vys_pol_kr-polara.aspx)>.

### 5.3. Zdroje obrázků

- Obr. 1 <<http://galerie.lkmt.cz>>, © LKMT.cz, autor: gemino,
- Obr. 2 <<http://www.airliners.net>>, © Carl J Maroney,
- Obr. 3 <<http://galerie.lkmt.cz>>, © LKMT.cz, autor: Lukáš Orel,
- Obr. 4 <<http://galerie.lkmt.cz>>, © LKMT.cz, autor: j.ree,
- Obr. 5 <<http://galerie.lkmt.cz>>, © LKMT.cz, autor: Adam,
- Obr. 6 <<http://commons.wikimedia.org>>, © Robin Stevens,
- Obr. 7 <<http://www.airliners.net>>, © Frank C. Duarte Jr.,
- Obr. 8 <<http://www.cartinafinland.fi>>, © Kari Niemeläinen,
- Obr. 9 <<http://www.airliners.net>>, © Chris Muir,
- Obr. 10 <<http://planetagadget.com/2008/02/29/lockheed-constellation>>,
- Obr. 11 <<http://www.airliners.net>>, © Alex McMahon,
- Obr. 12 <<http://www.airliners.net>>, © A. Muñoz Zaragüeta,
- Obr. 13 <<http://www.105aw.ang.af.mil/photos/mediagallery.asp?galleryID=7661>>,
- Obr. 14 <<http://www.airliners.net>>, © Alexander Datsenko,
- Obr. 15 vlastní zdroj,
- Obr. 16 vlastní zdroj,

Obr. 17 vlastní zdroj,  
 Obr. 18 vlastní zdroj,  
 Obr. 19 vlastní zdroj,  
 Obr. 20 <<http://galerie.lkmt.cz>>, © LKMT.cz, autor: lojza,  
 Obr. 21 <<http://www.stopbuyingcrap.com/woops-bought-crap/woops-bought-a-business-jet>>,  
 Obr. 22 <<http://www.aviationpartners.com/future.html>>,  
 Obr. 23 <<http://www.amevoice.com/forum/topic/1791>>,  
 Obr. 24 <<http://www.airliners.net>>, © Erich Meyer,  
 Obr. 25 <<http://www.airliners.net>>, © Dubravko Sertovic,  
 Obr. 26 <<http://www.airliners.net>>, © Josep Tomas - Iberian Spotters,  
 Obr. 27 <[http://image42.webshots.com/43/8/76/34/359587634nNSNSI\\_fs.jpg](http://image42.webshots.com/43/8/76/34/359587634nNSNSI_fs.jpg)>,  
 Obr. 28 <<http://jeunes-ails.forumactif.com/t1047-le-robin-atl>>,  
 Obr. 29 <<http://www.airliners.net>>, © Vladimir Kostitsa,  
 Obr. 30 <<http://www.airliners.net>>, © Daniel Rybka,  
 Obr. 31 <<http://www.airliners.net>>, © Fred Seggie - WorldAirImages,  
 Obr. 32 <<http://commons.wikimedia.org>>, © Deutsches Bundesarchiv,  
 Obr. 33 <<http://www.airliners.net>>, © Frank Steinkohl,  
 Obr. 34 <<http://commons.wikimedia.org>>, © Yevgeny Pashnin,  
 Obr. 35 <<http://www.airliners.net>>, © Manolo Aldana,  
 Obr. 36 <<http://www.sethwhite.org/williams%20field.htm>>, © Seth White,  
 Obr. 37 <<http://www.zenithair.com/stolch701/7-photo81.html>>,  
 Obr. 38 <<http://www.konflikty.pl>>,  
 Obr. 39 vlastní zdroj,  
 Obr. 40 <<http://www.airliners.net>>, © Joerg Amann.

## 6. Seznam použitých zkratek a symbolů

SOP.....svislá ocasní plocha  
 STOL.....*short take-off and landing*, nízké nároky letounu na délku vzletové a  
 přistávací dráhy  
 VOP.....vodorovná ocasní plocha

$M[-]$ .....Machovo číslo  
 $n[-]$ .....násobek zatížení