

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

PŘEHLED NEKONVENČNÍCH KONCEPCÍ LETOUNŮ

SUMMARY OF UNCONVENTIONAL AIRCRAFT CONCEPTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

DAVID NEČAS

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. ONDŘEJ LAJZA

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): David Nečas

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:

Přehled nekonvenčních koncepcí letounů

v anglickém jazyce:

Summary of unconventional aircraft concepts

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student se seznámí s letouny nekonvenční koncepce.

Cíle bakalářské práce:

Vypracování přehledu nekonvenčních letounů.

Porovnání daných nekonvenčních letounů s konvenčními letouny.

Seznam odborné literatury:

Jane's: All the World's Aircraft 2007-2008: Cambridge University Press, 2007.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ondřej Lajza

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 20.11.2009

L.S.

prof. Ing. Antonín Pištěk, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na civilní letouny nekonvenčních koncepcí, které se dostaly do sériové výroby. Práce bude členěna dle kategorií letounů, přičemž v každé kategorii, s výjimkou velkých dopravních letadel, bude přiblížen jeden konvenční letoun a dále dva nekonvenční pro porovnání různých parametrů. Vojenské letectví bude zmíněno pouze okrajově z důvodu zástupce významné nekonvenční koncepce.

Klíčová slova:

nekonvenční letoun, lehký sportovní letoun, letoun obecného letectví, malý dopravní letoun, velký dopravní letoun, Rutan VariEze, Bede BD-5, Cessna 337 Skymaster, Beechcraft Bonanza G35, Beechcraft Starship 2000, Piaggio P180 Avanti, Concorde, B-2 Spirit

Abstract

This bachelor's thesis deals with civil aircrafts of unconventional conceptions, which got into serial production. The thesis will be divided according to categories of aircrafts, whereas in every category with the exception of large transport aircrafts one conventional and two unconventional aircrafts will be specified for comparing various properties. Military aircraft will be mentioned only marginally because of the representative of significant unconventional conception.

Keywords:

unconventional aircraft, light sport aircraft, general aviation aircraft, commuter, large transport aircraft, Rutan VariEze, Bede BD-5, Cessna 337 Skymaster, Beechcraft Bonanza G35, Beechcraft Starship 2000, Piaggio P180 Avanti, Concorde, B-2 Spirit

Bibliografická citace bakalářské práce

NEČAS, D. *Přehled nekonvenčních koncepcí letounů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 58 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ondřej Lajza.

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci *Přehled nekonvenčních koncepcí letounů* vypracoval samostatně pod vedením Ing. Ondřeje Lajzy. V seznamu literatury jsem uvedl všechny použité zdroje.

V Brně 20. května 2010

.....

podpis

Poděkování:

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Leteckému ústavu Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně, že mi umožnil vypracovat tuto bakalářskou práci. Zejména bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Ondřeji Lajzovi za ochotu, trpělivost a věcné rady a připomínky v průběhu tvorby práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Robertu Popelovi, Ph.D. a Ing. Františku Vaňkovi, Ph.D. za zodpovězení některých otázek. Rád bych také poděkoval svým nejbližším za podporu, kterou mi prokazovali při tvorbě této práce.

Obsah

Úvod	15
Vymezení pojmů	16
Lehké sportovní letouny	18
Evektor EuroStar SL	18
Rutan VariEze	19
Bede BD-5	21
Porovnání parametrů	23
Závěrečné zhodnocení kategorie lehkých sportovních letounů	24
Letouny obecného letectví – General Aviation	25
Cirrus SR22	25
Cessna 337 Skymaster	27
Beechcraft Bonanza G35	28
Porovnání parametrů	30
Závěrečné zhodnocení kategorie letounů obecného letectví	31
Malé dopravní letouny – Commuter	32
King Air B200	32
Beechcraft Starship 2000	33
Piaggio P180 Avanti	35
Porovnání parametrů	37
Závěrečné zhodnocení kategorie malých dopravních letounů	38
Velké dopravní letouny	39
Concorde	39
Porovnání parametrů	42
Vojenské letouny	43
B-2 Spirit	43
Parametry	45
Závěr	46
Seznam použitých zdrojů	49
Literární zdroje.....	49
Internetové zdroje.....	49
Zdroje obrázků.....	57
Seznam použitých anglických zkratk	58

Úvod

K rozvoji nekonvenčních koncepcí letounů přispěl z velké části rozvoj CAD systémů a výpočtových softwarů. Zároveň také došlo k výraznému zvýšení výkonnosti počítačových sestav, z čehož plynou možnosti konstruktérů a výpočtářů ověřit si různé konstrukční a designérské varianty letounu na virtuálním modelu v relativně krátkém čase.

Jistě je třeba také zmínit jméno amerického leteckého inženýra Burta Rutana, narozeného roku 1943, který proslul svojí originalitou a návrhem na první pohled netradičních, až futuristických, avšak lehkých, pevných a energeticky účinných letadel. Právě on se stal průkopníkem takzvané kachní koncepce, na kterou získal certifikaci a využíval ji prakticky na všech svých navržených strojích. Při stavbě letounů se také často snažil využívat především kompozitních materiálů.

Jelikož problematika nekonvenčních koncepcí letounů je velice rozsáhlá a bylo by velice obtížné zanalyzovat a zpracovat ji jako celek, dohodli jsme se po konzultaci s vedoucím bakalářské práce Ing. Ondřejem Lajzou, že se zaměřím na to, aby byl ke každé kategorizované oblasti civilního letectví, jako jsou malé sportovní letouny (UL, VLA, LSA), letouny obecného letectví (GA) a malé dopravní letouny (Commuter), blíže přiblížen jeden konvenční, všeobecně rozšířený a známý zástupce a s ním bude porovnáno několik strojů nekonvenčních koncepcí, které se staly sériově vyráběnými a uplatnily se tedy v běžné praxi. Výjimkou pak bude kategorie velkých dopravních letounů, ve které se obecně nekonvenční koncepce téměř nevyskytují.

Jak již bylo zmíněno, práce sice bude pojednávat o letounech civilního letectví, přesto bude zmíněn jeden letoun určený pro vojenské účely, který je zástupcem nekonvenční koncepce nazvané létající křídlo, která by neměla být opomenuta.

Práce se dále nebude zabývat letouny, které byly vyrobeny pouze jako prototypy, popřípadě v nákladu několika málo jednotlivých kusů.

V neposlední řadě je třeba zdůraznit, že se jedná o nekonvenční koncepce konstrukčního charakteru.

Vymezení pojmů

Nejprve je třeba vymezit si jisté pojmy, které se problematiky letounů a letecké terminologie obecně týkají, aby bylo zcela zřejmé, co je myšleno používanými pojmy, které se budou vyskytovat zejména u popisu koncepcí, popřípadě konstrukcí jednotlivých letounů:

Uvedená terminologie je na základě normy ČSN 31 0001. [5]

Letadlo:

- 1) Zařízení schopné vyvozovat síly nesoucí jej v atmosféře z reakcí vzduchu, které nejsou reakcemi vůči zemskému povrchu. (dle JAR 1)
- 2) Zařízení způsobilé létat v atmosféře nezávisle na zemském povrchu, nést na palubě osoby nebo jiný náklad, schopné bezpečného vzletu a přistání a alespoň částečně říditelné.

Letoun:

- 1) Motorové letadlo s nepohyblivými křídly, těžší než vzduch, které je podporováno v letu dynamickými reakcemi vzduchu působícími na jeho křídla. (dle JAR 1)
- 2) Motorové letadlo s nepohyblivými nosnými plochami.

1a) Motorové letadlo – letadlo vybavené pohonnou jednotkou (jednotkami) pro vyvození tahu potřebného k letu.

1b) Letadlo těžší vzduchu – letadlo, u něhož je vztlak potřebný k letu vyvozován jinými než aerostatickými silami obklopujícího ovzduší.

2a) Letadlo s nepohyblivými nosnými plochami – letadlo těžší vzduchu, u něhož je vztlak potřebný k letu vyvozován v podstatě aerodynamickými silami na nosných plochách, které jsou v dané konfiguraci vůči letadlu nepohyblivé.

Letadlo v klasickém uspořádání = konvenční letoun

Letadlo, jehož stabilizátor a výškové kormidlo jsou umístěny za nosnou plochou, zpravidla na zadní části trupu.

Letadlo typu kachna:

Letadlo, jehož stabilizátor a výškové kormidlo jsou umístěny před nosnou plochou.

Létající křídlo:

Letadlo tvořené nosnou plochou a případně trupem; součástí nosné plochy jsou všechny řídicí plochy.

Tryskové letadlo = Reaktivní letadlo:

Motorové letadlo s tryskovou pohonnou jednotkou (jednotkami).

Vrtulové letadlo:

Motorové letadlo s vrtulovou pohonnou jednotkou (jednotkami).

Pozn.: Za konvenční se u vrtulových letounů považuje, jsou-li vrtule v tažné konfiguraci, tedy před motorem a letoun „táhnou“ vzduchem.

Proudové letadlo:

Motorové letadlo s proudovou pohonnou jednotkou (jednotkami).

Jednoplošník:

Letoun s jednou nosnou plochou.

Dolnoplošník:

Jednoplošník, jehož nosná plocha je umístěna ve spodní části trupu.

Hornoplošník:

Jednoplošník, jehož nosná plocha je umístěna v horní části trupu nebo nad trupem.

Středoplošník:

Jednoplošník, jehož nosná plocha je umístěna přibližně v polovině mezi vrcholem a spodkem trupu.

Sportovní letadlo:

Letadlo používané ke sportovnímu létání.

Nadzvukové letadlo = supersonické letadlo:

Letadlo schopné dosáhnout a udržet nadzvukovou rychlost letu v rozsahu odpovídajícím hodnotám Machova čísla od 1,2 do 4.

Lehké sportovní letouny

Tato kategorie je definována několika předpisy. Jedná se o předpisy UL, VLA a LSA. Definovány jsou pak stroje pro lehké sportovní letectví dle evropského předpisu VLA takto:

Jedná se o letouny s maximální vzletovou hmotností do 750 kg váhy (s několika málo výjimkami pro hydroplány) pro maximálně dva pasažéry (včetně sedadel pro piloty), s vrtulí a pístovým motorem. Pro pilotáž těchto letadel postačí pouze osvědčení pro sportovní piloty. Letouny mohou být určeny pro akrobatický provoz. [10]

V kategorii lehkých sportovních letounů bude jako konvenční zástupce blíže představen letoun Evektor EuroStar SL, z nekonvenčních pak budou přiblíženy letouny Rutan VariEze a Bede BD-5. V závěrečné tabulce porovnávaných parametrů pak budou specifikovány ještě dva konvenční letouny, konkrétně Ikarus C42 a Europa XS.

Evektor EuroStar SL

Historický vývoj:

Česká společnost Evektor byla založena roku 1991 a od roku 1992 působí v oblasti vývoje a konstrukce letadel. Lehký sportovní letoun EuroStar s označením EV-97, který svou konstrukcí a designem vycházel z ultralehkého letounu Koala, se začal vyvíjet roku 1996 a od roku 1997 se úspěšně prodává. Doposud bylo vyrobeno přes 900 kusů, které létají ve více než čtyřiceti zemích světa.

V dubnu roku 2009 byl pak představen vylepšený model EuroStar SLW. Ve srovnání s modelem EuroStar SL má EuroStar SLW integrální palivové nádrže s dvojnásobným objemem paliva, umožňující dolet až 1 300 km. Překonstruovaný hlavní zavazadlový prostor je zvětšen o 124 l, a poskytuje tak celkový objem 180 l. EuroStar SLW byl představen s novými sedačkami se zvýšenými zádovními opěrkami.



Obr. 1: Evektor EuroStar SL [94]

Popis koncepce:

Letoun je konvenční, jednomotorový, ultralehký dolnoplošník, který je poháněn motorem Rotax 912 ULS o výkonu 73,5 kW. Ocasní plochy jsou vodorovné, umístěné ve spodní části ocasu.

Podvozek letounu je pevný, tříkolový, přičemž předové kolo je říditelné.

Křídla jsou obdélníkového půdorysu.

Konstrukce:

EuroStar SL má celokovovou, eloxovanou, korozivzdornou duralovou konstrukci. Je jediným UL letounem, jehož všechny spoje konstrukce jsou nýtovány a také lepeny, což zvyšuje odolnost a únavovou životnost draku letounu, zlepšuje crashové charakteristiky a zajišťuje i po letech provozu hladký a tichý let bez nežádoucích zvuků. Hlavy všech nýtů jsou před lakováním tmeleny pro zvýšení životnosti nýtovaných spojů. Pro zvýšení bezpečnosti je pak možné do volitelné výbavy zvolit padákový systém pro případ nehody.

Výhody a nevýhody letounu Evektor EuroStar SL	
+	-
Velmi dobré letové vlastnosti	Snížený výkon z důvodu konstrukce křídel
Spolehlivé řízení	Nižší rychlost letu
Stabilita letu	
Nízké provozní náklady	
Odolná celokovová konstrukce	
Pohodlí a prostor v kokpitu	

Tab. 1: Zhodnocení vlastností letounu Evektor EuroStar SL

Rutan VariEze

Historický vývoj:

Letoun, jehož název vznikl z dvou anglických slovíček „very easy“, v překladu „velmi snadný“, který si mohl zákazník postavit doma jako stavebnici, byl navržen americkým leteckým inženýrem Burtem Rutanem. Ten přitom vycházel ze zkušeností s předchozí stavebnicí VariViggen. Na letadle začal pracovat v průběhu roku

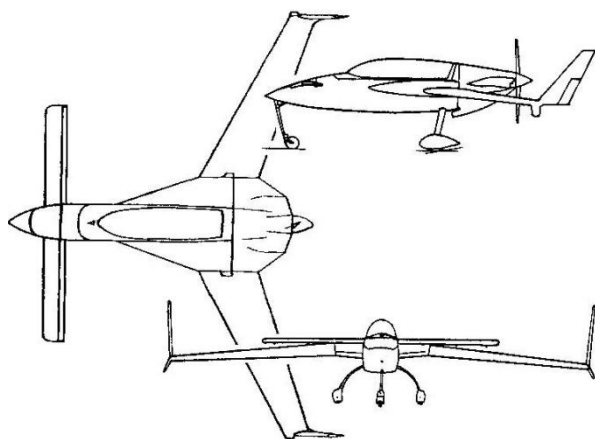


Obr. 2: Letoun Rutan VariEze [95]

1974 a o rok později, přesně 21. května 1975, se konal první zkušební let prototypu s označením Model 31. Samotná stavba prototypu netrvala déle než 4 měsíce.

Veřejnosti byl letoun poprvé představen na každoroční konferenci leteckých příznivců ve městě Oshkosh ve státě Wisconsin. Stroj se stal díky tomuto setkání velmi populární, přesto provedl Burt Rutan nějaké změny, například použil jiný pohon, zvětšil křídla a provedl spoustu dalších detailních změn. O rok později opět představil svůj letoun na konferenci v Oshkosh.

Téhož roku 1976 se začaly prodávat plány na letoun zájemcům z řad široké veřejnosti. VariEze byl později nahrazen strojem LongEz a plány na jejich postavení se přestaly prodávat roku 1985 po tragické havárii jednoho z letounů LongEz. Po dlouhém soudním řízení s pozůstalými obětí nehody se Burt Rutan sám rozhodl, že již plány nebude prodávat. Za tu dobu si však tato dvě letadla získala takovou oblibu, že se stala nejprodávanějšími doma sestavitelnými letadly vůbec.



Obr. 3: Schéma letounu Rutan VariEze [96]

Popis koncepce:

Jedná se o lehký sportovní středoplošník, který si může zákazník sestavit sám jako stavebníci. Letoun je kachní koncepce, jeho vrtule je v tlačné konfiguraci. Pohon je zajištěn pomocí čtyřválcového motoru Continental O-200 o výkonu 74,6 kW.

Jeho podvozek je tříbodový, částečně zatažitelný. Zatahnout se dá přední část podvozku.

Křídla VariEze jsou lichoběžníková, na koncích jsou opatřena winglety.

Konstrukce:

Tento letoun byl vyroben převážně z kompozitních materiálů, což bylo v oblasti „stavebnicových“ strojů velice inovativní.

Výhody a nevýhody letounu Rutan VariEze	
+	-
Cenová dostupnost	Sklon k přehřívání motoru
Možnost sestavit si letoun jako stavebníci	Nutnost parkování s nosem na zemi (při neopatrném zacházení mohlo dojít k poškození)
Vysoká bezpečnost v kategorii doma sestavitelných letadel	
Lehká kompozitní konstrukce	
Snížená náchylnost k rotacím	
Vhodnost pro delší lety	

Tab. 2: Zhodnocení vlastností letounu Rutan VariEze

Bede BD-5

Historický vývoj:

Historie tohoto letounu od amerického leteckého návrháře Jima Bedeho se začala psát na přelomu 60. a 70. let 20. století. Jeho předchůdcem byl úspěšný model BD-4, což byl hornoplošník až pro 4 cestující, který byl ekonomicky dostupný a měl poměrně dobrý výkon.

Plánován byl letoun ve dvou verzích a to BD-5A s menším rozpětím křídel, určený především pro vyšší rychlosti a akrobacii a BD-5B s větším rozpětím pro větší dolet. Jelikož bylo letadlo děláno jako stavebnice, mohl si zákazník koupit obě varianty křídel, jejichž přestavení zabralo jen asi deset minut, a mohl tak volit vhodnou variantu dle účelu letu.

Od 24. února 1971 se začaly přijímat objednávky se zálohou 200 amerických dolarů. Dodání strojů pak mělo být přesně o 15 měsíců později. Dokonce bylo učiněno přes 4 300 objednávek, což zařadilo BD-5 mezi nejžádanější letouny novodobé historie.



Obr. 4: Letoun Bede BD-5 [97]

Zkušební let BD-5 se konal 12. září 1971. Jelikož měl letoun mnoho nedostatků, byly provedeny některé změny. V-ocas se změnil na konvenční, změnil se materiál trupu. Celý projekt tak získal zpoždění, navíc se objevily problémy s volbou motoru, a dodávky tak začaly až v roce 1973. Náhle ale nastaly finanční problémy, jelikož Jim Bede vkládal peníze za nákup letounů do nových projektů, a nedostatečně tak pokryl náklady. Na společnost byl uvalen konkurz a projekt skončil roku 1979.

Nástupcem modelu byl pak o 10 let později, kdy byly všechny finanční problémy vyřešeny, model BD-5J, který se stal nejlehčím proudovým letadlem doby a svůj rekord si dodnes drží. Získal si přezdívku „kapesní tryskáč“.

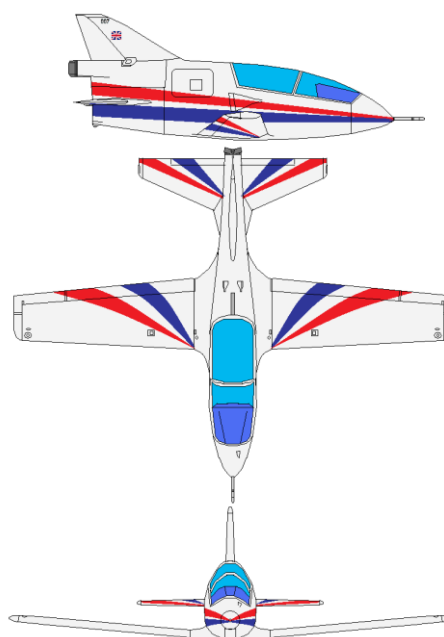
Popis koncepce:

Jedná se o ultralehký vrtulový letoun, k jehož pohonu byl použit motor Hirth 2706E o výkonu 51 kW. Tento motor byl nejpoužívanější, ale byly k dispozici i jeho slabší verze o výkonu 41 kW, nebo dokonce jen 30 kW.

Jedná se o dolnoplošník a uspořádání vrtule je v tlačné konfiguraci.

Stroj je vybaven zatažitelným třibodovým podvozkem.

Křídla jsou lichoběžníková.



Obr. 5: Schéma letounu Bede BD-5J [98]

Konstrukce:

Původně bylo záměrem vyrobit hliníkový rám a trup z laminátu. Z důvodu problémů při zkušebních letech však bylo od tohoto plánu upuštěno a trup byl nakonec celokovový (konkrétně ze slitiny hliníku).

Výhody a nevýhody letounu Bede BD-5	
+	-
Velmi přijatelné pořizovací náklady	Nízký výkon motoru
Možnost sestavit si letoun jako stavebníci	Nebezpečný letoun v případě, že jej nesestavil odborník
Nízká hmotnost	Konečná doba sestavení letounu byla delší, než avizovaná
Možnost volby křídel dle účelu letu	Někdy byly stavebnice nekompletní
Nízké provozní náklady	

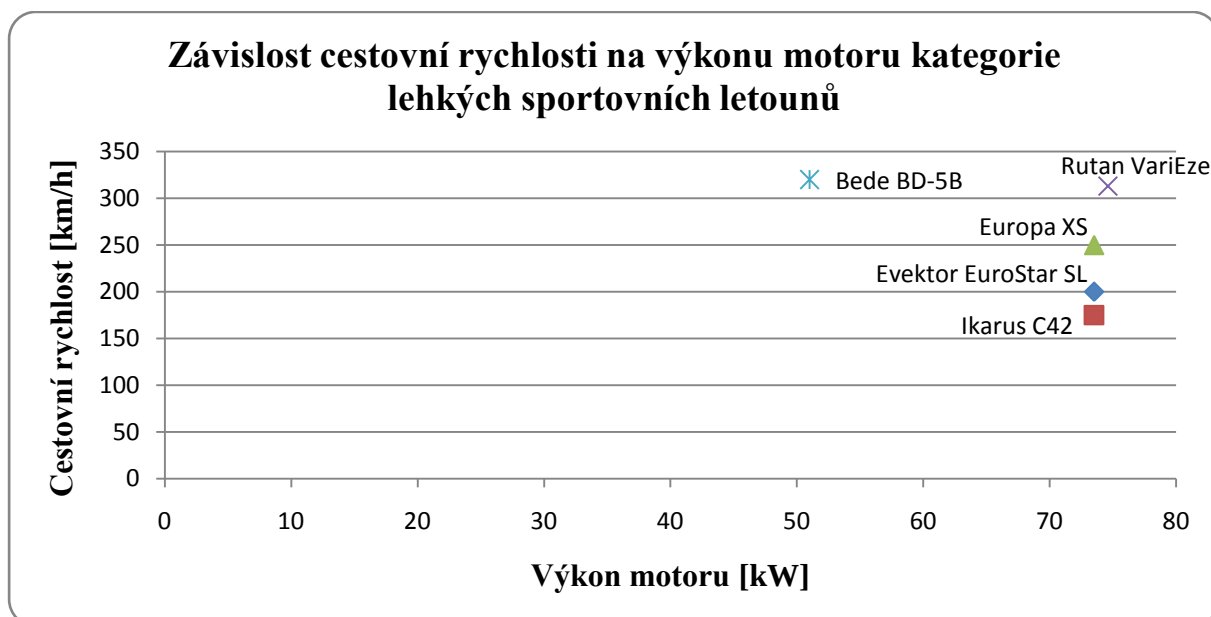
Tab. 3: Zhodnocení vlastností letounu Bede BD-5**Obr. 6: Ikarus C42 [99]****Obr. 7: Europa XS [100]**

Porovnání parametrů:

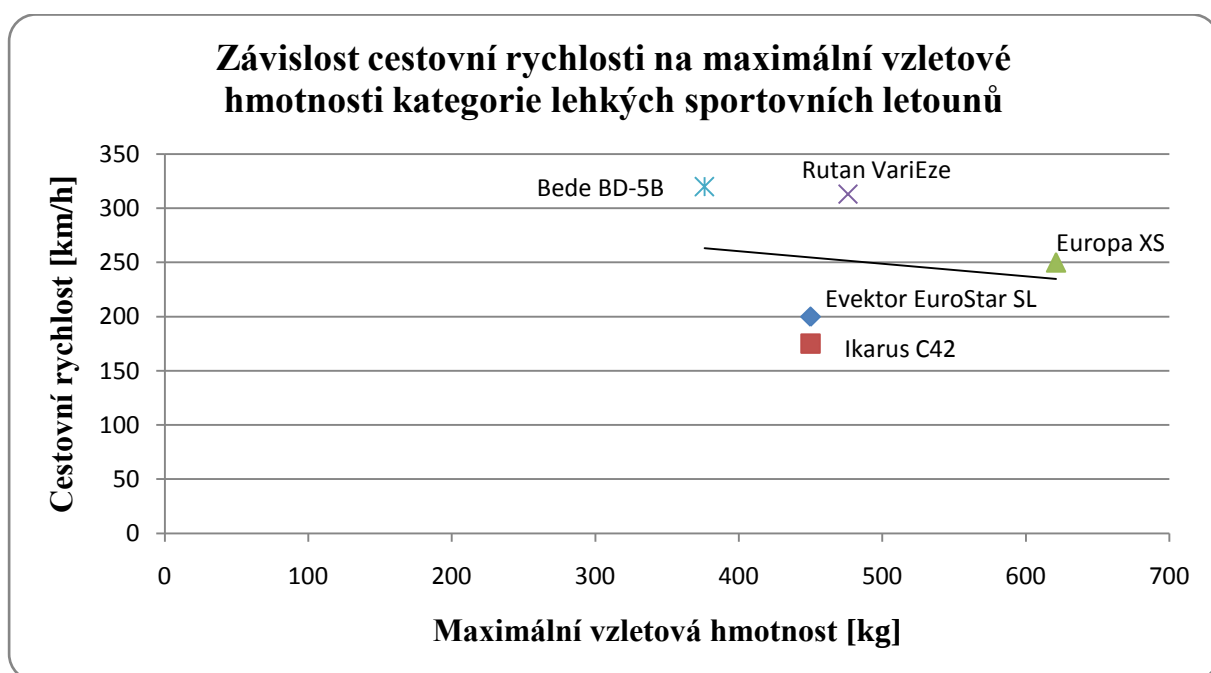
	Letoun				
	Konvenční			Nekonvenční	
	Evektor EuroStar SL	Ikarus C42	Europa XS	Rutan VariEze	Bede BD-5B *
Posádka [-]	max. 1	max. 1 [17]	max. 1	max. 1	max. 1
Cestující [-]	max. 1	max. 1 [17]	max. 1	max. 1	max. 0
Rozpětí [m]	8,10	9,45	8,28	6,77	6,4
Délka [m]	5,98	6,25	5,84	4,32	4,1
Výška [m]	2,34	2,24	2,13	1,5 [27]	1,6
Plocha křidel [m ²]	9,84	12,5	9,48	4,98	4,4
Vrtule	2 - 3 listy	3 listy	3 listy	2 listy	2 listy
Maximální vzletová hmotnost [kg]	450	450	621	476	376
Hmotnost prázdného letadla [kg]	262	268	354	263	167
Maximální objem paliva [l]	70	50	68,2	91	106
Maximální cestovní rychlost [km/h]	200	175	250	313	320
Maximální dolet [km]	800	650	1 355	1 368	1 152
Maximální dostup [m]	5 000	N/A	N/A	7 620 [24]	4 200
Výkon motoru [kW]	1 x 73,5	1 x 73,5	1 x 73,5	1 x 74,6	1 x 51
Pádová rychlost [km/h]	65	63	92	90	99,2
Stoupavost [m/s]	8	5	5,08	8,12	9,65
Délka startovací dráhy [m]	100	100	180	275	204
Délka přistávací dráhy [m]	200	150 [18]	183	275	161,5
Počet vyrobených kusů [-]	800+ [13]	650+ [17]	450+ [20]	2 000+ [25]	5 100+
Zdroj informací	[1], [13]	[2], [17], [18]	[1], [20]	[4], [24], [25], [27]	[29], [30], [31], [32], [33]

Tab. 4: Porovnání parametrů letounů kategorie lehkých sportovních letounů

[*] – Data k takto označeným letounům jsou čerpána výhradně z internetových zdrojů



Graf 1: Závislost cestovní rychlosti na výkonu motoru kategorie lehkých sportovních letounů



Graf 2: Závislost cestovní rychlosti na maximální vzletové hmotnosti kategorie lehkých sportovních letounů

Závěrečné zhodnocení kategorie lehkých sportovních letounů:

Většina strojů kategorie lehkých sportovních letounů je vybavena motorem o výkonu přibližně 100 koňských sil (v případě nejčastěji používaného motoru Rotax 912 ULS je výkon 98,6 koňských sil). Oba blíže popsané nekonvenční letouny Rutan VariEze a Bede BD-5B mohou létat vyšší cestovní rychlostí než představené konvenční letouny. Stroj Bede BD-5B může létat až rychlostí 320 km/h, přestože jeho motor má oproti ostatním přibližně o 1/3 nižší výkon. Vysoká cestovní rychlost je zapříčiněna zejména nižší vzletovou hmotností, oproti ostatním zástupcům se jedná o jednomístný letoun.

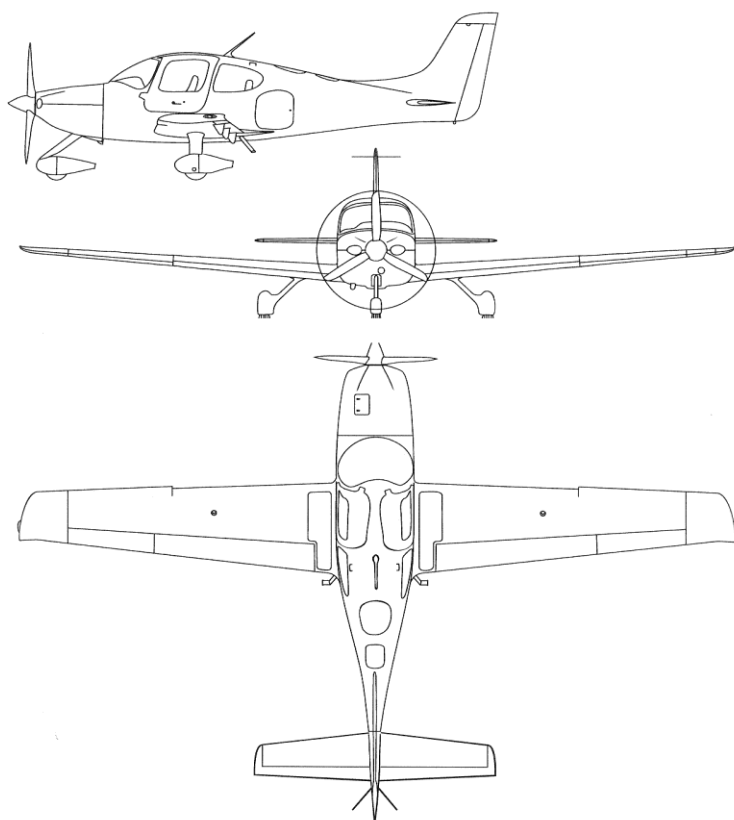
Letouny obecného letectví – General Aviation

Tato kategorie spadá do kategorie malých dopravních letounů, řídí se tedy předpisem CS 23. Specifikace dle platných předpisů potom zní:

Jedná se o standardní kategorii letové způsobilosti, do níž se zařazují jedno nebo vícemotorové vrtulové letouny s nejvýše 9 sedadly (vyjma sedadel pro piloty), do maximální vzletové hmotnosti 5 670 kg a které jsou určeny pro neakrobatický provoz. [10]

Jako konvenční zástupce této kategorie bude představen moderní letoun Cirrus SR22, z nekonvenčních pak budou blíže zmíněny letouny Cessna 337 Skymaster a Beechcraft Bonanza G35. Do tabulky pro závěrečné zhodnocení kategorie potom ještě bude přidán konvenční letoun Diamond DA42 a nekonvenční stroj Velocity XL-5.

Cirrus SR22



Obr. 8: Schéma letounu Cirrus SR22 [101]

Historický vývoj:

Historie tohoto letounu vyráběného, jak již název napovídá, americkou společností Cirrus, se píše pouhé jedno desetiletí. Model vychází z jeho předchůdce s označením SR20. Byl certifikován roku 2000 a je jedním z nejprodávanějších strojů své kategorie. Jeho ovládání je velice jednoduché, což je jedním z důvodů jeho vysoké oblíbenosti.

V současné době se letoun vyrábí ve třech verzích. SR22 S je základní variantou, kterou standardně využívají například letecké školy. Verze SR22 GS jednoznačně vede v prodeji, jelikož se těší oblíbenosti široké vrstvy podnikatelů, či menších společností. Nejluxusnější model

SR22 GTS, je sice dražší, a není tedy tak dostupný jako předchozí dvě verze, zato je však proveden s absolutní precizností a cestování v něm poskytuje posádce maximální luxus.

Od uvedení do provozu do dubna roku 2009 došlo celkem k 62 nehodám tohoto letounu, při kterých zahynulo 48 pasažérů.

Popis koncepce:

Jedná se o jednomotorový dolnoplošník v klasickém uspořádání s lichoběžníkovým křídlem.

Letoun je poháněný šestiválcovým motorem Continental IO-550-N o výkonu 231 kW.

Je vybaven pevným podvozkem, jehož kola jsou opatřena aerodynamickými kryty pro snížení odporu.

Konstrukce:

Cirrus SR-22 je moderní letoun vyrobený z kompozitních materiálů.

Součástí letounu je padák, který v případě poruchy snese stroj i s posádkou bezpečně k zemi. Ke zvýšení bezpečnosti jsou přední sedadla dokonce vybavena airbagy.

Za příplatek 24 500 amerických dolarů je pak možné letoun vybavit kvalitnějším odmrazovacím zařízením, které letadlo lépe chrání při letu v silně mrazivých podmínkách, přičemž náběžné hrany křídla a stabilizátor jsou navíc potaženy titanovým povlakem, do kterého jsou vyvrtány malé kapiláry. Na vrtuli se pak nachází samostatný vývod odmrazovací kapaliny.



Obr. 9: Cirrus SR22 GTS [102]

Výhody a nevýhody letounu Cirrus SR22	
+	-
Vysoká rychlost letu	Horší stabilita letu při nižších rychlostech
Vysoký výkon motoru	Vysoké náklady na údržbu
Bezproblémový vstup do kokpitu díky prostorným dveřím	Nižší výkon při výšce letu menší než 3 000 m
Pohodlí při letu	
Snadné ovládání	

Tab. 5: Zhodnocení vlastností letounu Cirrus SR22

Cessna 337 Skymaster

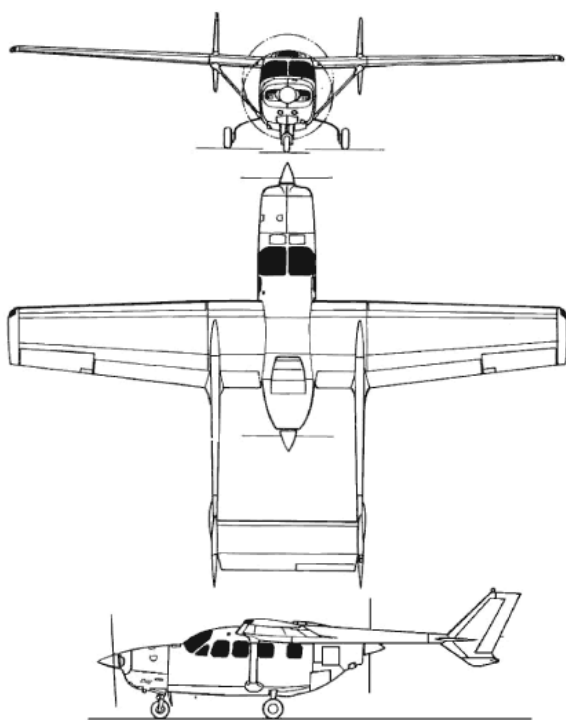
Historický vývoj:

První prototyp Skymasteru s označením 633 vzlétl 28. února 1961. Na základě zkušeností z testovacího letu a po odstranění některých nedostatků následoval model Cessna 336, který byl rozšířen ze čtyřmístné na šestimístnou verzi, měl silnější motory a byly zvětšeny svislé ocasní plochy. Tohoto modelu se již vyrobilo 195 kusů. Jelikož ale stále panovala jistá nespokojenost s některými parametry, byl vyvinut



Obr. 10: Cessna 337 Skymaster [103]

model Super Skymaster 337, který poprvé vzlétl 30. března 1964. Přídomek Super se však přestal v roce 1972 používat. Tento letoun byl již vybaven zatahovacím podvozkem, byl opět zvýšen výkon motoru, přepracována kapotáž a bylo přidáno nové hřbetní sání.



Celkem bylo vyrobeno téměř 2 500 standardních a přeplňovaných letounů se sériovým označením 337 Super Skymaster, 337A, 337B, 337C, 337D, 337E, 337F, 337G dle drobných změn, ke kterým docházelo v průběhu vývoje. Další kategorii pak tvořily stroje pro armádu s označením 0-2A, 0-2B a 0-2TT. Těch bylo vyrobeno 513 ks.

Popis koncepce:

Cessna 337 je hornoplošník se vzepřeným křídlem, což je typická koncepce pro Cessnu. Vzpěry umožňují redukovat hmotnost křídla, jelikož způsobují příznivější rozložení ohybového momentu po jeho rozpětí. Na druhou stranu je kvůli vzpěrám zvýšen aerodynamický odpor, což vede ke snížení výkonu.

Obr. 11: Schéma letounu Cessna 337 Skymaster [104]

Letoun je postaven v takzvané push-pull (tažně-tlačné) konfiguraci vrtulí. Tato konstrukce se začala prosazovat v průběhu 20. let 20. století a právě u Cessny Skymaster 337 došlo k jejímu nejrozšířenějšímu použití.

Pro pohon jsou použity dva motory Continental IO-360-C, každý o výkonu 157 kW. Oba motory jsou umístěny v ose letadla.

Křídlo letounu je kombinované, přičemž střední křídlo je obdélníkové a vnější křídlo lichoběžníkové.

Podvozek je tříbodový, zatahovací.

Konstrukce:

Konstrukce tohoto stroje je celokovová.

Výhody a nevýhody letounu Cessna 337 Skymaster	
+	-
Push-pull koncepce umožňuje jednomotorový start	V horkých dnech má motor umístěný vzadu sklon k přehřívání
Možnost připojit dvě vrtule v ose letadla	Občas piloti nevědomky vypnou zadní motor, což může vést k nehodě
V případě, že dojde k vysazení jednoho z motorů, letoun si udrží stabilitu	
K pilotování stačí licence na jednomotorové letadlo (z důvodu umístění obou motorů na jedné hřídeli)	

Tab. 6: Zhodnocení vlastností letounu Cessna 337 Skymaster

Beechcraft Bonanza G35

Historický vývoj:

Letoun Beechcraft Bonanza se začal sériově vyrábět již v roce 1947 a stal se tak jedním z nejdéle vyráběných letadel historie. V roce 1959 dokonce získal ocenění, dle kterého patřil mezi nejlepších 100 masově navržených výrobků. Na svou dobu se jednalo o velice výkonný a pokrokový stroj.

První zkušební let stroje s označením 35 se uskutečnil krátce po skončení 2. světové války, přesně pak 22. prosince 1945. V roce 1946 pak došlo k nehodě, při které byl



Obr. 12: Beechcraft Bonanza G35 [105]

usmrcen zkušební pilot. Bylo provedeno intenzivní testování pro odhalení nedostatků a po drobných úpravách byl letoun v roce 1947 schválen americkým Úřadem pro civilní letectví a byl zařazen do provozu. Letoun si brzy získal oblibu široké veřejnosti a pro ještě větší zviditelnění s ním byla vykonána zkouška o co nejděší let. Se speciálními přídavnými nádržemi se podařilo dosáhnout vzdálenosti 8 486 km.

Zmíněná nehoda z roku 1946 i další nehody, které se neobešly beze ztrát na životech, byly připisovány tvaru ocasních ploch (koncepte V-ocas), což se bohužel časem potvrdilo, ale jelikož se v průběhu testování došlo k závěru, že za většinu nehod mohlo zejména nevhodné využívání pro dlouhé lety v kombinaci se špatným počasím, zůstal V-ocas nedílnou součástí některých modelů Bonanzy až do roku 1982.

Kromě modelu 35, byl také vyráběn model 33, který měl však konvenční ocasní plochy. Tento model byl roku 1995 přeznačen na model 36.

Popis koncepce:

Jedná se o jednomotorový dolnoplošník klasického uspořádání vrtulí, jehož motor s označením Continental E-225-8 má výkon 168 kW.

Ocasní plochy tohoto letounu (modelu 35) jsou uspořádány do tvaru písmene V, letoun má tedy takzvaný V-ocas.

Půdorysný tvar křídla je skládaný lichoběžník.

Podvozek je tříbodový, zatažitelný.

Konstrukce:

Letoun je celokovové konstrukce, což bylo vzhledem k době, kdy poprvé vzlétl poměrně pokrokové, jelikož většina letounů se ještě vyráběla ze dřeva a textilií. Klapky a křídélka Bonanzy G35, které byly jako jediné části letadla vyrobeny z textilie, byly potaženy povlakem z hořčíkové slitiny.

Výhody a nevýhody letounu Beechcraft Bonanza G35	
+	-
Vysoká rychlost, vysoký výkon motoru (vzhledem k době, kdy byl letoun navržen)	Bylo prokázáno 24x vyšší riziko poruchy při použití V-ocasů
Použití nových materiálů	Pro stejnou účinnost jako u konvenčního tvaru ocasních ploch musela být plocha V-ocasů 4x větší
Nízká hmotnost	Nižší stabilita letu
V-ocas snižuje potřebnou hodnotu tahu motoru	
Menší aerodynamický odpor	
Přijatelná cena	

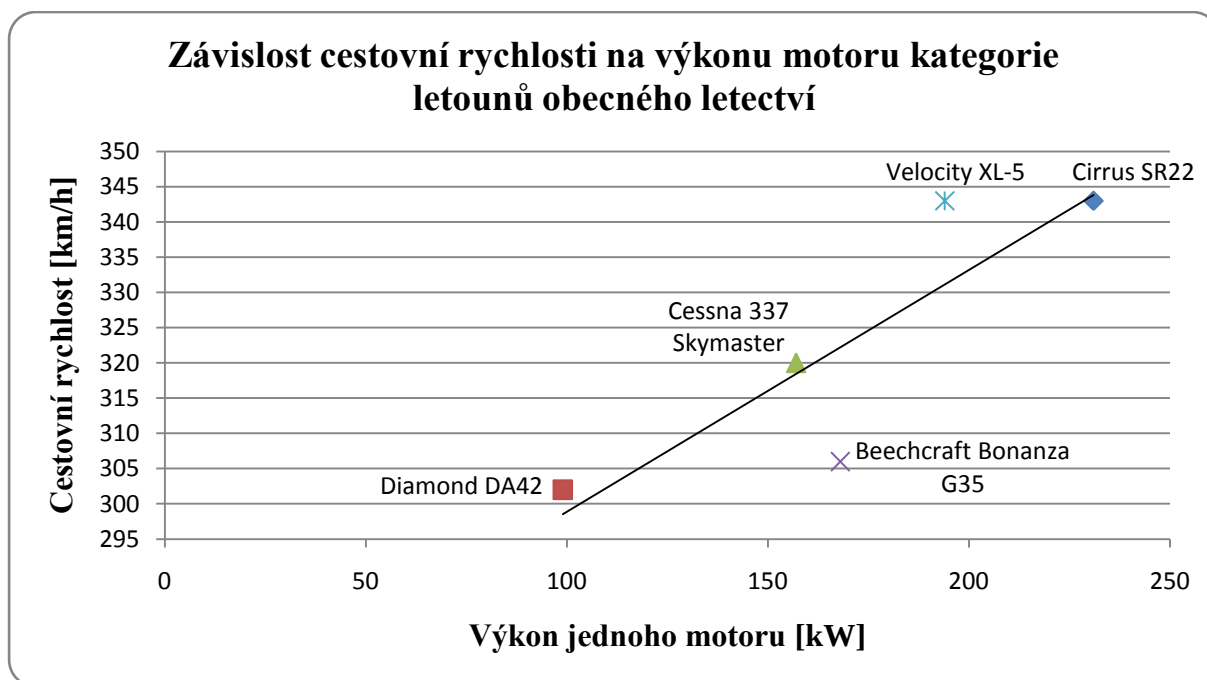
Tab. 7: Zhodnocení vlastností letounu Beechcraft Bonanza G35

Porovnání parametrů:

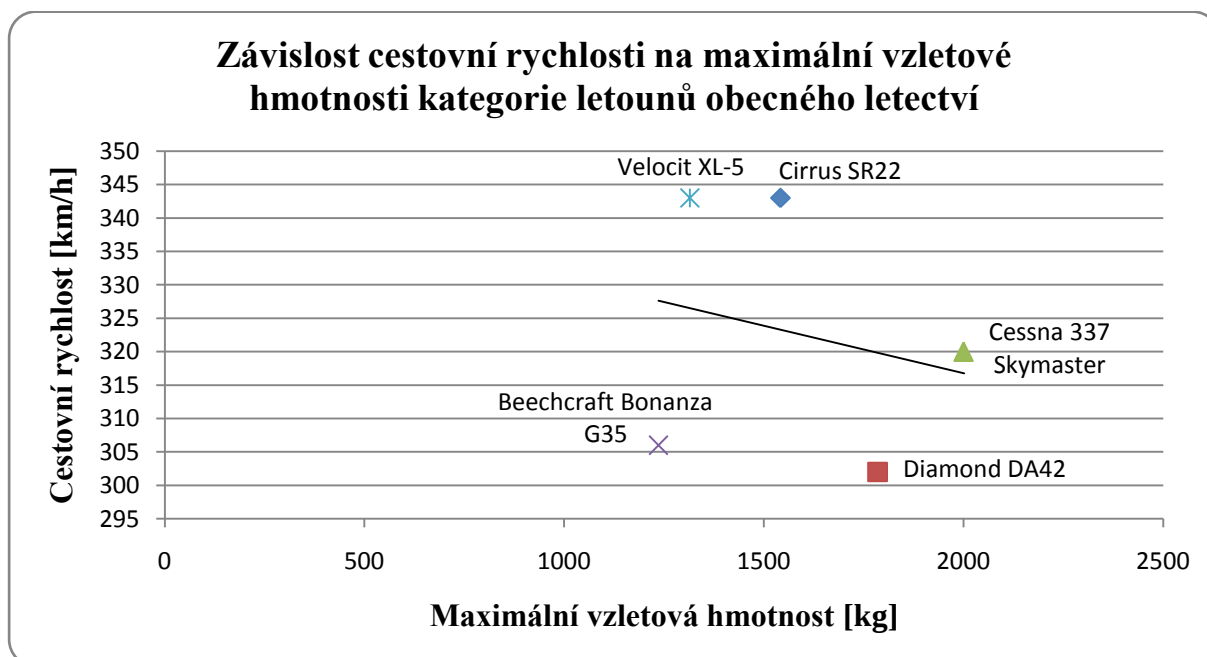
	Letoun				
	Konvenční		Nekonvenční		
	Cirrus SR22	Diamond DA42	Cessna 337 Skymaster *	Beechcraft Bonanza G35 *	Velocity XL-5 *
Posádka [-]	max. 1	max. 1	max. 1	max. 1	max. 2
Cestující [-]	max. 3	max. 4	max. 5	max. 3	max. 3
Rozpětí [m]	11,73	13,41	11,58	10,01	9,44
Délka [m]	7,92	8,53	9,07	7,77	6,1
Výška [m]	2,62	2,44	2,8	2,51	2,36
Plocha křidel [m ²]	13,93	16,28	18,7	16,5	11,38
Vrtule – Ø [m]	3 listy Ø 1,98	3 listy Ø 1,87	2 listy Ø 1,93	2 listy Ø 2,12	2 listy Ø 1,72
Maximální vzletová hmotnost [kg]	1 542	1 785	2 000	1 236	1 315
Hmotnost prázdného letadla [kg]	1 021	1 250	1 304	780	816
Maximální objem paliva [l]	318	197	350	180	265
Maximální cestovní rychlost [km/h]	343	302	320	306	343
Maximální dolet [km]	1 852	1 661	1 220	1 247	1 621
Maximální dostup [m]	5 335	5 486 [43]	5 944	5 800	6 096
Výkon motoru [kW]	1 x 231	2 x 99	2 x 157	1 x 168	1 x 194
Pádová rychlost - zatažené klapky [km/h]	130	117	126	117	120
Pádová rychlost - vysunuté klapky [km/h]	113	N/A	111	101	N/A
Stoupavost [m/s]	6,61	5,38	6,1	5,6	7,6
Délka startovací dráhy [m]	311	427	471	323	396
Délka přistávací dráhy [m]	348	397	213	207	457
Počet vyrobených kusů [-]	N/A	N/A	3000+	476	N/A
Zdroj informací	[1]	[1], [43]	[44], [45], [46], [47]	[48], [49], [50], [51], [52], [53]	[54], [55], [56], [57]

Tab. 8: Porovnání parametrů letounů kategorie letounů obecného letectví

[*] – Data k takto označeným letounům jsou čerpána výhradně z internetových zdrojů



Graf 3: Závislost cestovní rychlosti na výkonu motoru kategorie letounů obecného letectví



Graf 4: Závislost cestovní rychlosti na maximální vzletové hmotnosti kategorie letounů obecného letectví

Závěrečné zhodnocení kategorie letounů obecného letectví:

Z představených letounů dosáhnou nejvyšší cestovní rychlosti konvenční letoun Cirrus SR22 a nekonvenční Velocity XL-5, který má sice méně výkonný motor, ale jeho konstrukce vykazuje velmi malý aerodynamický odpor. Nižší rychlost letounu Beechcraft Bonanza G35 je způsobena především stářím letounu, který byl vyvinut před více než 60 lety. Ve většině důležitých sledovaných parametrů, jako je cestovní rychlost, výkon motoru, či dolet, dominuje moderní letoun Cirrus SR22. Dostup představených letounů se výrazně neliší a pohybuje se mezi 5 a 6 km.

Malé dopravní letouny – Commuter

Kategorie malých dopravních letounů nebo jinak letounů pro sběrnou dopravu, označovaná mezinárodně výrazem Commuter, je dána dle předpisu CS 23 takto:

Standardní kategorie letové způsobilosti, do níž se zařazují vícemotorové vrtulové letouny s nejvýše 19 sedadly (vyjma sedadel pro piloty), do maximální vzletové hmotnosti 8 618 kg a které jsou určeny pro neakrobatický provoz. [5]

Jako konvenční zástupce této kategorie bude představen letoun King Air B200, nekonvenční stroje potom budou představovat prakticky dva jediné sériově vyrábění nekonvenční zástupci této kategorie a to Beechcraft Starship 2000 a Piaggio P180 Avanti. Pro závěrečné zhodnocení pak budou do tabulky přidány dva konvenční letouny Beechcraft 1900D a Let L-410.

King Air B200

Historický vývoj:

Tento letoun je produktem americké společnosti Beechcraft, přičemž některé další letouny této společnosti již byly nebo případně budou zmíněny v této práci. Modely byly rozděleny do dvou sérií. Modely 90 a 100 spadaly do kategorie King airs, zatímco modely 200 a 300 nesly obchodní značku Super King airs. Přídomek Super byl však roku 1996 vyrazen z názvu.

King Air je nepřetržitě vyráběn v různých modifikacích od roku 1964. Jeho úspěšnost byla tak vysoká, že se jej prodávalo tolik, jako všech jeho konkurentů v této třídě dohromady.

Model 100 byl veřejnosti poprvé představen v květnu roku 1969. Hned následujícího roku, v říjnu roku 1970, ale začali vývojáři pracovat na modelu 200, u kterého byl zvýšen výkon, kapacita paliva a podobně. První let prototypu se konal 27. října 1972 a certifikace se dočkal již v polovině prosince 1973. Letoun King Air 200 čelil silným konkurentům, jako byly Cessna Conquest a Piper Cheyenne. Jako jediný však opravdu obstál a vyrábí se dodnes.

Vylepšený model B200 byl produkován od května roku 1980. Měl výkonnější motory, zvýšila se kapacita paliva, nepatrně se změnily některé rozměry.

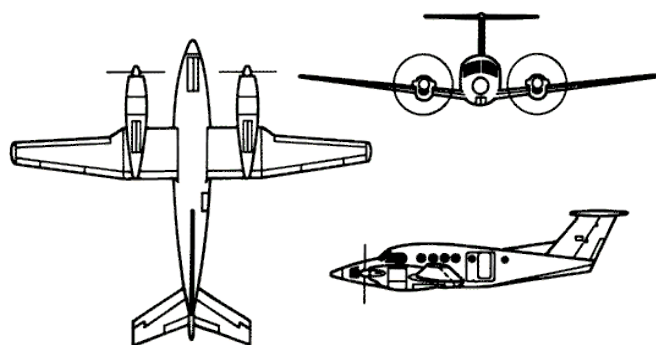
Popis koncepce:

Jedná se o konvenční turbovrtulový dolnoplošník, který je poháněn dvěma motory Pratt & Whitney Canada PT6A-42, přičemž každý z motorů má výkon 634 kW. Ocasní plochy jsou ve tvaru písmene T, takzvaný T-ocas.

Letoun je vybaven tříbodovým, zatažitelným podvozkem.



Obr. 13: King Air B200 [106]



Obr. 14: Schéma letounu King Air B200 [107]

Konstrukce:

Letoun je vyroben z hliníkových slitin.

Křídlo je kombinací obdélníkového křídla ve střední části a vnějšího lichoběžníkového křídla.

Kabina tohoto letounu je přetlakovaná.

Výhody a nevýhody letounu King Air B200	
+	-
Dlouhodobá vysoká prodejnost	Nižší rychlost letu
Široká dostupnost	
Stabilita letu	
Vysoká hodnota maximálního doletu	

Tab. 9: Zhodnocení vlastností letounu King Air B200

Beechcraft Starship 2000

Obr. 15: Beechcraft Starship 2000 [108]

Historický vývoj:

Letoun byl navržen americkým leteckým inženýrem Burtem Rutanem. Vývoj stál 300 milionů amerických dolarů a začal v roce 1979, jelikož společnost Beechcraft chtěla nahradit model King Air. Cílem bylo vyvinout stroj, který by létal rychleji a přepravil více cestujících. První prototypový model s označením 115, poprvé vzlétl 29. srpna 1983, nebyl však certifikován, měl odlišný trup a byl vyroben z jiných materiálů a následně byl proto zničen.

První zkušební let modelu 2000 se uskutečnil 15. února 1986. Byly vyrobeny prototypy a během testování se neustále pracovalo na vylepšení letounu. Koncem roku 1988 potom mohl vzlétnout první Starship. Celkem bylo vyrobeno 53 strojů, což bylo považováno

za neúspěch, jelikož cíle projektu byly vysoké. Ze zmíněných 53 strojů se navíc podařilo prodat jen několik kusů, zbylé letouny byly pouze pronajímány.

Popis koncepce:

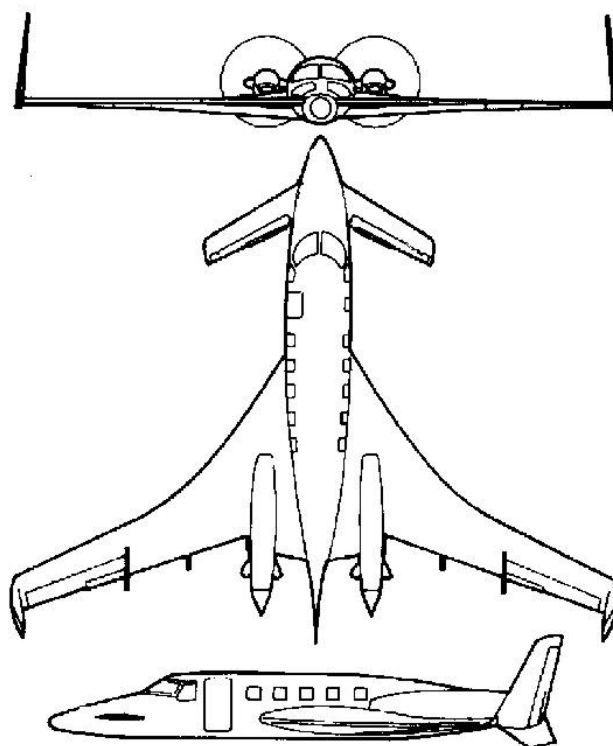
Beechcraft Starship je letoun kachní koncepce, který byl jako první letoun této koncepce v této kategorii certifikovaný. Jedná se o dolnoplošník.

K pohonu slouží dva motory Pratt & Whitney Canada PT6A-60A, každý o výkonu 746 kW. Uspořádání vrtulí je v tlačné konfiguraci. Funkci svislých ocasních ploch nahrazují výrazné winglety na koncích křídel, které jsou opatřeny směrovými kormidly.

Křídlo letounu je lichoběžníkové se šípovitostí $24^{\circ}12'$ ve střední části a je rovněž vyrobeno z kompozitních materiálů.

Podvozek je tříbodový, zatažitelný, hlavní podvozek je opatřen dvěma koly, přední podvozek je jednokolový.

Kabina je přetlakovaná.



Obr. 16: Schéma letounu Beechcraft Starship 2000
[109]

Konstrukce:

Zásadní inovací konstrukce tohoto letounu bylo, že celý trup byl vyroben z kompozitních materiálů namísto běžně používaných hliníkových slitin. Kompozity se již využívaly v oblasti vojenského letectví, ale u civilního stroje to byl velký pokrok.

Kachní plochy jsou elektronicky ovladatelné a jsou opatřeny výškovými kormidly, která jsou vzájemně propojena s klapkami.

Výhody a nevýhody letounu Beechcraft Starship 2000	
+	-
Větší odolnost kompozitů vůči únavě než kovové materiály	Vysoká cena
Vysoká odolnost proti korozi	Vysoká vnější hlučnost
Stabilnější a klidnější let, díky tlačné konfiguraci vrtulí	
Nízká hladina zvuku v kabině, díky umístění vrtule za prostorem posádky	
V ceně letounu byl bezplatný servis	
Kachní koncepce zvyšuje vztlak	

Tab. 10: Zhodnocení vlastností letounu Beechcraft Starship 2000

Piaggio P180 Avanti



Obr. 17: Piaggio P180 Avanti [110]

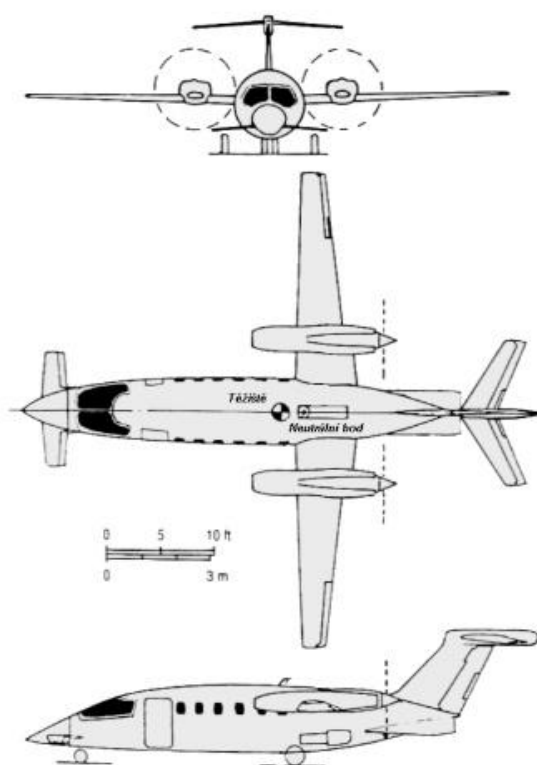
Historický vývoj:

Letoun, který je produkcí italské společnosti Piaggio Aero, byl poprvé testován v aerodynamických tunelech v Itálii a následně v USA v roce 1980, respektive 1981. V roce 1983 se do projektu zapojila americká společnost Learjet, která se na letadle podepsala především umístěním malých delta ploutví na spodní straně ocasu. Learjet však již tři roky poté, přesně pak 13. ledna 1986, z projektu

odstoupil. První prototyp Avanti vzlétl 23. září 1986, druhý potom po drobných úpravách v květnu 1987.

Certifikován byl letoun nejprve v USA a Itálii 7. března 1990. Prvních 12 strojů bylo vyrobeno v USA ve městě Wichita a ty byly následně letecky převezeny do Itálie pro finální montáž. V roce 1994 se projekt potýkal s finanční krizí a ta trvala celé čtyři roky, dokud se do financování nezapojil Piero Ferrari, jediný žijící syn Enza Ferrariho, který je 10 procentním vlastníkem automobilky, kterou založil jeho otec. Výroba se tedy opět spustila a v pořadí 100. stroj byl vyroben v říjnu 2005, 150. pak v květnu 2008.

Druhá generace, Piaggio Avanti II byly v Evropě a v USA certifikovány v listopadu 2005. Během následujících šesti měsíců byla již přijata objednávka na 70 strojů. Nový letoun byl rychlejší, avšak s vyšší spotřebou paliva.



Obr. 18: Schéma letounu Piaggio P180 Avanti [111]

Popis koncepce:

Avanti P180 je dvoumotorový turbopropový středoplošník, který je vybaven dvěma motory Pratt & Whitney Canada PT6A-66 o výkonu 1 107 kW, jejichž výkon je ale omezen na 634 kW.

Je to stroj koncepce „triplane“. Vyskytují se zde tedy jak kachní vodorovné plochy, tak ocasní vodorovné plochy. Uspořádání všech vodorovných ploch je provedeno tak, že všechny přispívají ke vztlaku letadla. Jednou z možností tohoto uspořádání je optimalizovat vyvažovací síly na obou plochách tak, aby v cestovním režimu, při letu danou rychlostí, byl i při různých centrážích ofukován trup pod úhlem blízcím se úhlu nulovému, kdy bude mít trup minimální odpor a letoun nejmenší spotřebu paliva.

Vrtule jsou v tlačné konfiguraci. Celý nepřerušovaný aerodynamický tvar křivky od nosu k ocasu značně snižuje odpor a přispívá k laminárnímu režimu proudění.

Křídlo tohoto letounu má lichoběžníkový půdorys.

Podvozek je třibodový, zatažitelný, hlavní podvozek je jednokolový, přední podvozek dvoukolový.

Kabina letounu je přetlakovaná.

Konstrukce

Konstrukce je z 90 procent vyrobena z hliníkových slitin a zbylých deset procent je z kompozitních materiálů. Kompozity jsou použity jako materiál kachních ploch, ocasu, klapek, či dveří podvozku.

Výhody a nevýhody letounu Piaggio P180 Avanti	
+	-
Uspořádání vodorovných ploch způsobuje, že stačí 2/3 povrchu ploch oproti běžným letounům, což redukuje hmotnost, odpor a tím vede ke snížení spotřeby paliva	Nedokonalé chlazení motorů způsobené umístěním vrtulí
Létání vysokou rychlostí	Nevhodnost pro dlouhé lety
Vysoká stabilita letu	
Prostorná kabina, nízká hladina hluku uvnitř letadla	
O 40% nižší cena oproti letounům podobné kategorie	
Vysoká spolehlivost a bezpečnost	

Tab. 11: Zhodnocení vlastností letounu Piaggio P180 Avanti



Obr. 19: Beechcraft 1900D [112]



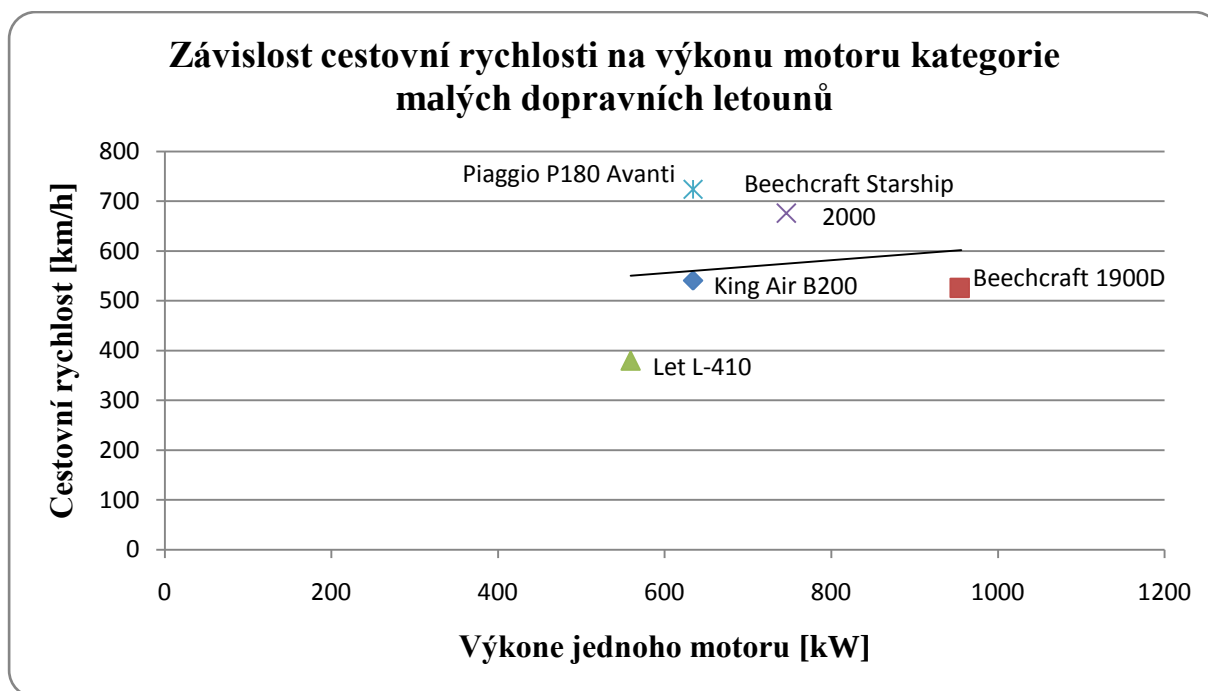
Obr. 20: Let L-410 [113]

Porovnání parametrů:

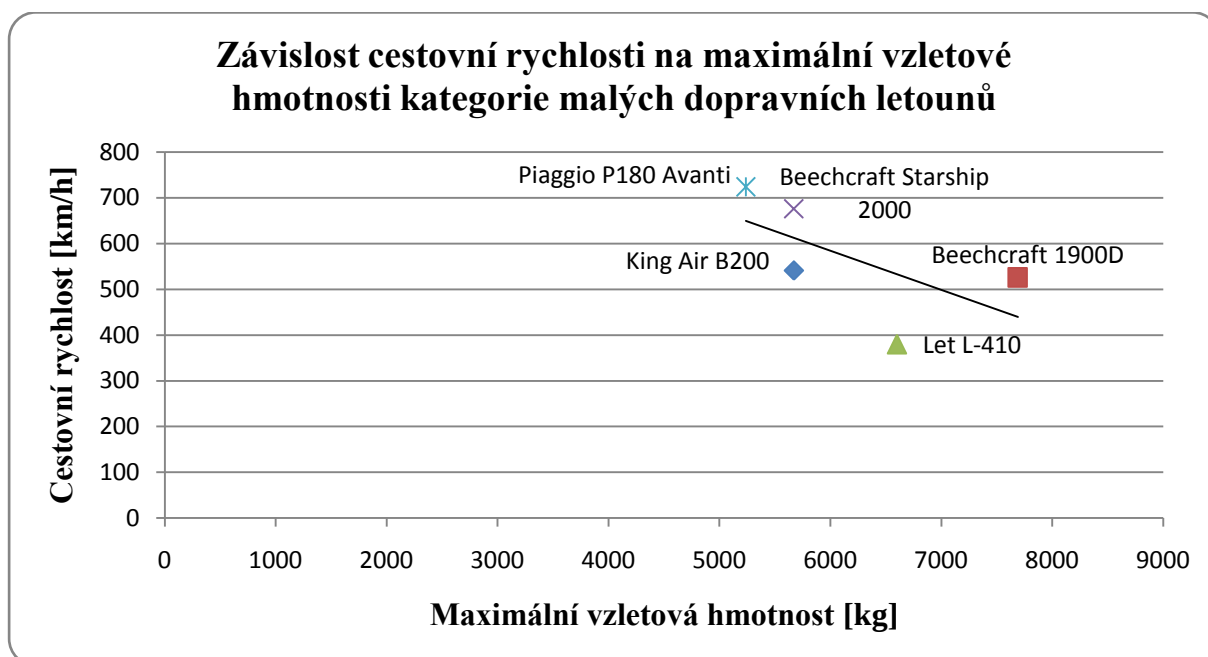
	Letoun				
	Konvenční			Nekonvenční	
	King Air B200	Beechcraft 1900D	Let L-410	Beechcraft Starship 2000	Piaggio P180 Avanti
Posádka [-]	max. 2 [59]	max. 2	max. 2	max. 2	max. 2
Cestující [-]	max. 13 [59]	max. 19	max. 19	max. 9	max. 9
Rozpětí [m]	16,61	17,67	19,98	16,62	14,03
Délka [m]	13,36	17,63	14,425	14,05	14,41
Výška [m]	4,52	4,57	5,83	3,94	3,98
Plocha křidel [m ²]	28,15	28,80	34,86	26,09	16
Vrtule – Ø [m]	4 listy Ø 2,39	4 listy Ø 2,78	3-5 listů Ø 2,3	5 listů Ø 2,44	5 listů Ø 2,16
Maximální vzletová hmotnost [kg]	5 670	7 688	6 600	5 670	5 239
Hmotnost prázdného letadla [kg]	3 757	4 831 [61]	4 020	3 489	3 402
Maximální hmotnost paliva [kg]	1 461	2 022	1 290	1 923	1 271
Maximální cestovní rychlost [km/h]	541	526	380	676	724
Maximální dolet [km]	3 250	1 311	1 317	2 687	2 213
Maximální dostup [m]	10 670	10 058	7 460	12 131	12 500
Výkon motoru [kW]	2 x 634	2 x 954	2 x 559	2 x 746	2 x 634
Pádová rychlost - zatažené klapky [km/h]	183	187	158	167	202
Pádová rychlost - vysunuté klapky [km/h]	139	156	123	145	172
Stoupavost [m/s]	12,5	13,33	6,6	16,66	14,98
Počet vyrobených kusů [-]	3 550+ [60]	695 [61]	1 138 [65]	53 [69]	175+ [77]
Zdroj informací	[1], [59], [60]	[2], [61]	[3], [65]	[4], [69]	[2], [77]

Tab. 12: Porovnání parametrů letounů kategorie malých dopravních letounů

[*] – Data k takto označeným letounům jsou čerpána výhradně z internetových zdrojů



Graf 5: Závislost cestovní rychlosti na výkonu motoru kategorie malých dopravních letounů



Graf 6: Závislost cestovní rychlosti na maximální vzletové hmotnosti kategorie malých dopravních letounů

Závěrečné zhodnocení kategorie malých dopravních letounů:

Nejvýkonnější motor z představených letounů má letoun Beechcraft 1900D, který však nedosahuje nejvyšší cestovní rychlosti. Nejvyšší rychlostí disponuje italský Piaggio P180 Avanti. Český letoun L-410 byl konstruován pro možnosti přistání i na nezpevněných přistávacích drahách a také z toho důvodu není tak vysoká jeho cestovní rychlost. Zajímavostí je vysoká hodnota doletu letounu King Air B200, který i přesto, že nemá nejvyšší kapacitu paliva, ostatní letouny poměrně výrazně převyšuje.

Velké dopravní letouny

Velké dopravní letouny jsou vícemotorové stroje sloužící k přepravě osob a nákladů. Kategorie velkých dopravních letounů je dle předpisu CS 25 definována takto:

Jedná se o standardní kategorii letové způsobilosti, do níž se zařazují vícemotorové letouny a vrtulníky s více než 19 sedadly (vyjma sedadel pro piloty). [5]

V této kategorii nejsou obecně nekonvenční koncepce příliš běžné a žádané, z toho důvodu není jednoduché nalézt konvenčního a k němu porovnatelného nestandardního zástupce. Proto jsme se po dohodě s vedoucím bakalářské práce Ing. Ondřejem Lajzou rozhodli, že bude blíže přiblížen pouze jeden letoun. Jedná se o nadzvukový dopravní letoun Concorde, který bude pouze v závěrečné tabulce srovnán s ruským nadzvukovým dopravním letounem Tupolev Tu-144S.

Concorde

Historický vývoj:

Tento dopravní nadzvukový letoun vznikl jako společný projekt anglické a francouzské vlády za účelem zvýšení rychlosti letecké dopravy. Cílem tedy nebylo zvýšení počtu přepravovaných cestujících, šlo v první řadě o zkrácení doby letu. Jelikož by ani jedna ze zmíněných zemí nedokázala projekt finančně zvládnout sama, dohodli se zástupci vlád na spolupráci. Financování projektu a poté i výnosy z prodeje se dělily rovným dílem. Na stavbě trupu se za Anglii účastnily společnosti British Aircraft Corporation a za Francii Aérospatiale. Tryskový motor s označením Olympus 593 pak vyrobily Bristol Siddeley (Británie) a SNECMA (Francie).



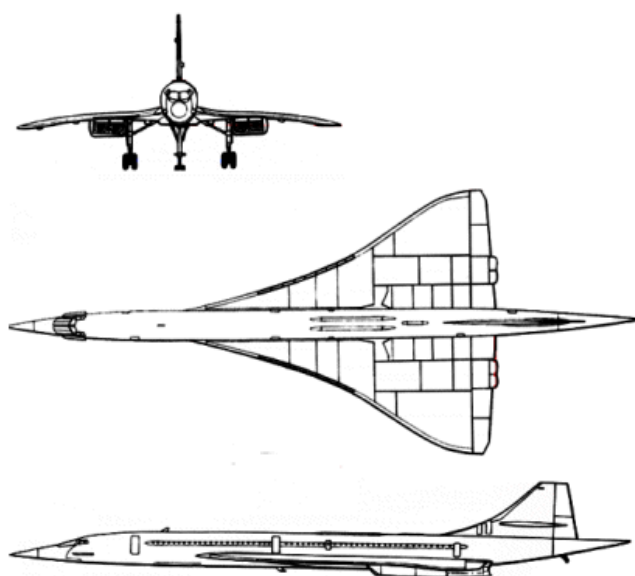
Obr. 21: Concorde společnosti Air France
[114]

První zkušební let se uskutečnil 2. března 1969. Kapitánem letu byl hlavní pilot Andre Turcat, letoun doprovázeli další dva letouny, přičemž jeden se staral o záznam a dokumentaci letu a druhý sloužil jako kalibr pro rychlost letu. Na základě tohoto zkušebního letu byly provedeny některé změny, například snížení úhlu takzvaného „sklopného“ nosu stroje. Do pravidelného provozu byl pak letoun zařazen 21. ledna roku 1976. Za první rok svého provozu přepravil na

45 000 cestujících a nalétal téměř 5 600 000 km.

Letoun si brzy získal velkou oblibu a záhy bylo objednáno celkem 70 ks. Poptávka však především z finančních důvodů klesla a většina objednávek byla stornována. Bylo tedy vyrobeno celkem 20 stojů, přičemž 2 z nich byly prototypy, 2 zkušební a zbylých 16 sloužilo aerolinkám jako dopravní letadlo.

Problémem bylo, že vzhledem k extrémním nákladům na vývoj a provoz se Concorde prakticky nikdy nestal čistě ziskovým projektem. Následně přibýly i další problémy. Například velmi vysoká spotřeba paliva v době ropné krize, následně letoun získal zákaz létání nadzvukovou rychlostí nad obydlenými oblastmi v USA z důvodu nadměrného hluku. Tím docházelo k prodloužení doby letu a ani v řadách veřejnosti již nebyl o let Concordem takový zájem jako zpočátku. Také z těchto důvodů proto British Airways a Air France v důsledku finančních problémů dne 10. dubna 2003 oznámily, že provoz tohoto nadzvukového stroje bude v průběhu roku ukončen. Poslední let se pak uskutečnil 24. října 2003 a byla tak ukončena přes 30 let dlouhá éra létání Concordu.



Obr. 22: Schéma letounu Concorde [115]

Popis koncepce:

Jedná se o nadzvukový velký dopravní dolnoplošník, k jehož pohonu slouží 4 motory Olympus 593, každý o tahu 169 kN.

Z důvodu absence vodorovných ocasních ploch spadá letoun do kategorie bezocasých letadel. Dále se při konstrukci využila koncepce nosu nazývaná drop-nos (sklopný nos), sloužící ke snížení odporu, ale mimo jiné i pro lepší viditelnost pilota při přistání.

Jedná se o dopravní letadlo, které má takzvané gotické křídlo, což je alternativa trojúhelníkového křídla. Záměrem konstruktérů tohoto tvaru křídla bylo, ve srovnání s klasickým trojúhelníkem, dosažení ještě nižšího odporu při nadzvukových rychlostech a současně co nejlepších letových vlastností při rychlostech malých. Právě kombinace dlouhého náběhu náběžné hrany, spolu s volbou profilu křídla a zkroucení křídla, přispívá při větších úhlech náběhu ke vzniku intenzivního náběžného víru, jehož vírové pole vyvolává přidavný vztlak a zlepšuje pádové vlastnosti křídla.

Podvozek je tříbodový, zatažitelný, přičemž na každém hlavním podvozku jsou 4 kola s pneumatikami Michelin NZG. Na třetím podvozku pod přední částí letadla jsou pak kola 2 s pneumatikami Dunlop (BA) nebo Goodyear (AF). Součástí podvozku je pak ještě jedno kolo v zadní části letounu, které brání odírání konstrukce o zem, jelikož gotické, potažmo trojúhelníkové křídlo, má největší vztlak při velkém náběžném úhlu.

Konstrukce:

Při volbě materiálu museli vývojáři brát ohled na provozní rychlost. Samozřejmě bylo potřeba použít co možná hmotnostně nejlehčích materiálů. Převážná část letounu je proto vyrobena z hliníku, který si ovšem udrží životnost pouze do 127°C. Z toho důvodu nemohla

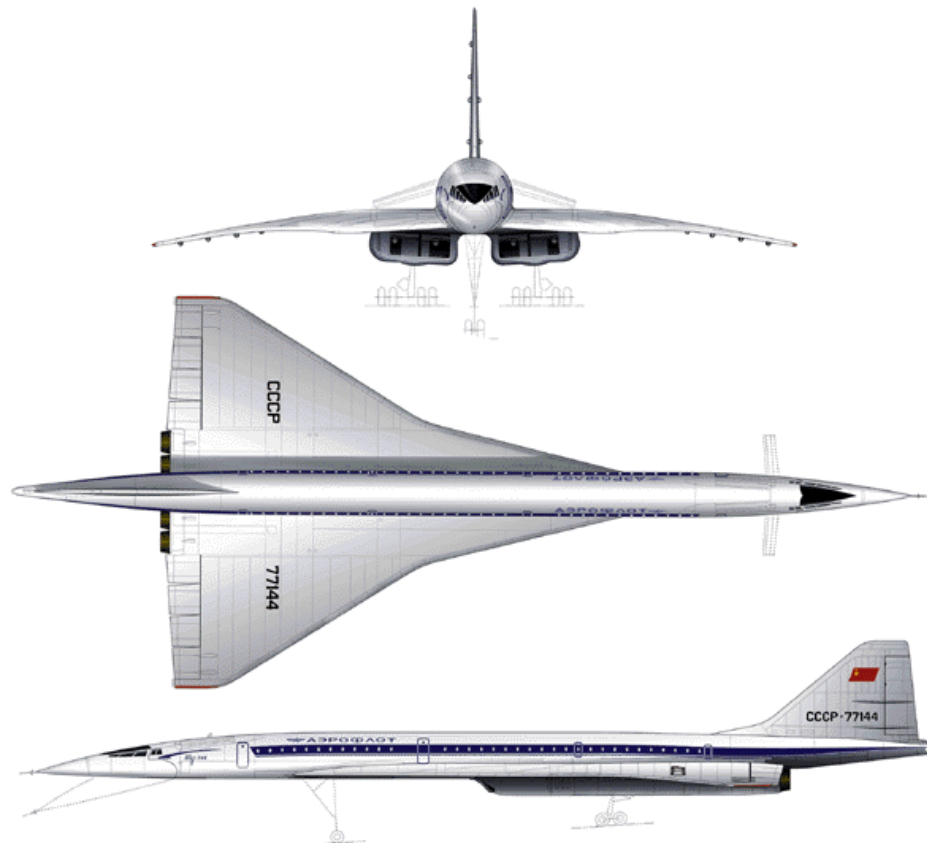
být rychlost letu vyšší než 2,04 Mach. Právě z důvodu ochrany hliníku před teplotou byly Concorde natírány vysoce odrážející bílou barvou.

Zajímavost:

V roce 1996 společnost Air France v rámci propagace Pepsi Coly nechala své stroje přemalovat na modro červenou barvu, což vedlo k tomu, že rychlost musela být snížena na 1,7 Mach, při rychlosti 2,0 Mach mohl letoun letět maximálně 20 minut.

Výhody a nevýhody letounu Concorde	
+	-
Dosažení nadzvukové rychlosti vede k úspoře času	Velká plocha křidel vyžaduje velký tah -> vysoký výkon motoru
Velká plocha gotických křidel zajišťuje vyšší vztlak, což vede k možnému zvýšení tloušťky křidel	Potřebná vysoká rychlost při vzletu a přistání vedoucí ke zvýšenému hluku a potřebě delších drah
Vysoká stabilita letu	Extrémně vysoké náklady na vývoj a provoz
Vyšší tloušťka křidel umožňuje nést více paliva	Vysoká spotřeba paliva
Jeden z nejbezpečnějších letounů historie	

Tab. 13: Zhodnocení vlastností letounu Concorde



Obr. 23: Schéma letounu Tupolev Tu-144S [116]

Porovnání parametrů:

	Letoun	
	Concorde *	Tupolev Tu-144S *
Posádka [-]	max. 11	max. 4
Cestující [-]	max. 128	max. 120
Rozpětí [m]	25,6	28,8
Délka [m]	61,66	65,5
Výška [m]	12,2	10,5
Plocha křídel [m ²]	358,25	438
Maximální vzletová hmotnost [kg]	185 900	180 200
Hmotnost prázdného letadla [kg]	78 700	85 000
Maximální hmotnost paliva [kg]	95 680	95 000
Maximální cestovní rychlost [Mach / km/h]	2,04 / 2300	2,2 / 2450
Maximální dolet [km]	7 250	3 700
Průměrná rychlost vzletu [km/h]	400	N/A
Průměrná rychlost přistání [km/h]	300	N/A
Maximální dostup [m]	18 300	18 000
Tah motoru [kN]	4 x 169	4 x 200
Spotřeba paliva (plný výkon) [kg/km]	13,2	26
Maximální kladný úhel náběhu [°]	16,5	N/A
Maximální záporný úhel náběhu [°]	-5,5	N/A
Stoupavost [m/s]	25,41	50
Tah/hmotnost [-]	0,373	0,44
Počet vyrobených kusů [-]	20	16
Zdroj informací	[78], [79], [80], [81]	[82], [83], [84]

Tab. 14: Porovnání parametrů velkých nadzvukových dopravních letounů

[*] – Data k takto označeným letounům jsou čerpána výhradně z internetových zdrojů

Vojenské letouny

Jak již bylo zmíněno v úvodu, práce se nezabývá vojenskými letouny. I přesto je však třeba udělat výjimku, jelikož letoun B-2 Spirit je představitelem takzvaného létajícího křídla, které by nemělo být v přehledu nekonvenčních koncepcí letounů vynecháno.

Vojenské letadlo je dle předpisu definováno takto:

Jedná se o letadlo používané pro vojenské účely a zpravidla nezapsané v civilním rejstříku. [5]

B-2 Spirit

Historický vývoj:

Americký strategický bombardér B-2 byl navržen jako náhrada za bombardéry B-1 Lancer. Hlavním požadavkem bylo vyvinout letoun, který by dokázal proniknout do cizího území, aniž by byl zpozorován. Projekt začal v roce 1979. Vývoj letounu stál dle odhadů 23 miliard dolarů a podílelo se na něm přibližně 13 000 osob. Letoun byl poprvé vystaven a představen veřejnosti 22. listopadu 1988 v Kalifornii, kde byl vyvinut, a jeho první zkušební let se konal 17. července 1989. Armádě USA byl první stroj dodán v prosinci roku 1993. Výrobce byla americká společnost Northrop Corporation.

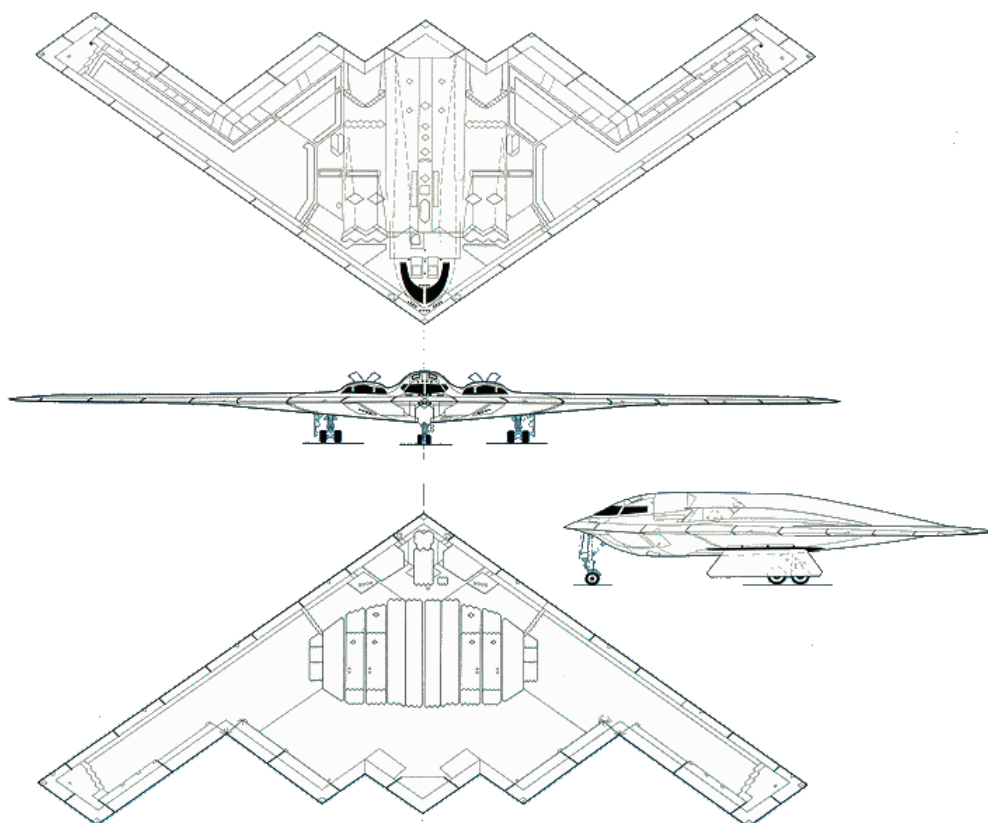
Ač bylo původně objednáno 132 strojů, nakonec jich bylo vyrobeno pouze 21. Došlo tak především z důvodu rozpadu Sovětského svazu a také z finančních důvodů, jelikož na vládu USA byl vyvíjen velký tlak v oblasti šetření financí. V současné době slouží americké armádě 20 strojů, jelikož jeden bombardér havaroval v únoru 2008 v Kansasu.



Obr. 24: B-2 Spirit [117]

Oba piloti se katapultovali, přičemž hlavní pilot vyvázl pouze s lehkými zraněními. Kopilot si však naneštěstí poranil míchu. Byl to ale první incident během 19 let provozu, a neohrozil tak další nasazení těchto strojů. K přerušení provozu došlo pouze na 53 dnů, během kterých probíhalo vyšetřování nehody.

K prvnímu ostrému nasazení letounu v boji pak došlo během války v Kosovu při shazování bomb na Srbsko v roce 1999. Následně se stal pravidelně nasazovaným strojem během útoku na Afghánistán a války v Iráku.



Obr. 25: Schéma letounu B-2 Spirit [118]

Popis koncepce:

Letoun B-2 Spirit je až trojmístný (v praxi ale obvykle létají dva členové posádky) víceúčelový americký bombardér, který je navržen jako létající křídlo s potlačenou stabilitou, náběžnými hranami se šípovitostí 40° a odtokovými hranami ve tvaru písmene W. Nevyskytují se na něm tedy svislé řídicí plochy.

K pohonu slouží 4 motory General Electric F118-GE-110, přičemž každý z nich má tah 77 kN.

Podvozek tohoto stroje je třibodový, zatažitelný, přičemž podvozek v přední části má dvě kola a zbylé dva podvozky v zadní části mají kola čtyři. Svou konstrukcí vychází zařízení podvozku z Boeingu 767.

Konstrukce:

Letoun je vyroben převážně z uhlíkových vláken, jeho povrch je téměř dokonale hladký. Jelikož na něm nejsou svislé řídicí plochy, je právě z tohoto důvodu B-2 Spirit označován jako neviditelný bombardér. Radarové vlny, které by letoun za normálních okolností prozradily, se totiž odrážejí právě od svislých řídicích ploch. Neviditelnosti také napomáhají zmíněná uhlíková vlákna, která jsou sice velmi náročná na údržbu, ale odráží minimum zvukových, infračervených, či optických signálů. Tepelné a akustické vyzařování je navíc snižováno na velmi nízkou úroveň mícháním horkých výfukových plynů s proudy studeného vzduchu před tím, než opustí výtokové trysky.

Výhody a nevýhody letounu B-2 Spirit	
+	-
Neviditelnost (samozřejmě nedokonalá)	Velmi vysoké náklady na vývoj a údržbu
Schopnost nést běžné, ale i jaderné zbraně	Na pilota působí větší přetížení, než u klasických letadel
Malý aerodynamický odpor	Horší stabilita letu
Schopnost pohybovat se ve velkých nadmořských výškách	Z důvodu složité údržby a kvůli riziku špionáže jsou všechny stroje umístěny pouze na jedné základně v USA, odkud musejí létat na velmi vzdálené mise, což zvyšuje náklady na provoz
Pevná, přesto relativně lehká konstrukce, díky použití kompozitů	Letoun unese méně munice, než by bylo na misi třeba, z toho důvodu ho často musí doprovázet například osvědčený bombardér B-52
Přesné navádění bomb pomocí vlastní GPS navigace	

Tab. 15: Zhodnocení vlastností letounu B-2 Spirit

Parametry:

	B-2 Spirit
Posádka [-]	max. 3
Cestující [-]	max. 0
Rozpětí [m]	52,43
Délka [m]	21,03
Výška [m]	5,18
Plocha křídel [m ²]	464,5
Maximální vzletová hmotnost [kg]	170 550
Hmotnost prázdného letadla [kg]	49 900
Maximální hmotnost paliva [kg]	90 720 [92]
Maximální cestovní rychlost [Mach / km/h]	0,95 / 972 [88]
Maximální dolet [km]	11 667
Maximální dostup [m]	15 240
Tah motoru [kN]	4 x 77
Stoupavost [m/s]	15,25 [92]
Tah/hmotnost [-]	0,205 [88]
Počet vyrobených kusů [-]	21 [88]
Zdroj informací	[2], [88], [92]

Tab. 16: Parametry letounu B-2 Spirit

Závěr

V bakalářské práci *Přehled nekonvenčních koncepcí letounů* je vytvořen přehled základních nekonvenčních koncepcí, které se využívají u sériově vyráběných letounů.

Jednotlivé letouny jsou rozděleny do kategorií, do kterých spadají dle leteckých předpisů. Ke každému letounu je přiblížen jeho historický vývoj, charakteristika koncepce a konstrukce. Na závěr jsou pak uvedeny jeho klady a zápory, přičemž některé přímo souvisí s použitou koncepcí. V závěru každé kategorie civilního letectví s výjimkou velkých dopravních letounů, kde dochází pouze ke srovnání dvou velkých nadzvukových dopravních letounů, je pak vytvořena tabulka parametrů, do které jsou přidány ještě dva letouny pro objektivnější porovnání základních parametrů, jako je maximální cestovní rychlost, maximální vzletová hmotnost, výkon motoru, dolet, dostup, atd.. Jak již bylo řečeno úvodem, v kategorii vojenského letectví nedochází k žádnému srovnání letounu B-2 Spirit s jinými letouny, jelikož B-2 je zde uveden jako zástupce koncepce nazvané létající křídlo, ve které dosud nebyl sériově vyroben žádný civilní letoun.

Byla snaha o vytvoření co možná nejobjektivnějšího srovnání popsaných letounů. Přesto v některých případech prakticky není možné provést zcela objektivní srovnání, jelikož například letoun Beechcraft Bonanza G35, který je zástupcem strojů s takzvaným V-ocasem, dělí od moderního letounu Cirrus SR22 prakticky 50 let.

V kategorii lehkých sportovních letounů je poměrně velké množství letounů konstruováno jako stavebnice, které si může zákazník postavit prakticky sám doma. V této kategorii se také vyskytuje mnoho letounů, které využívají některé nekonvenční koncepce, jelikož jejich vývoj není příliš finančně nákladný a snahou jejich vývojářů je vyniknout a zaujmout. Málokteré z těch nekonvenčních se však dostanou do sériové výroby.

U kategorie letounů obecného letectví se nevyskytuje tolik nekonvenčních letounů, jako v kategorii lehkých sportovních letounů, přesto je jich více, než v kategoriích malých, případně velkých dopravních letadel. Většina nekonvenčních letounů v této kategorii je koncipována jako kachna.

U malých dopravních letounů se mi podařilo objevit pouze dva výše popsané nekonvenční letouny Beechcraft Starship 2000 a Piaggio P180 Avanti. V úvahu by možná přicházel ještě letoun Adam A500, kterého však bylo vyrobeno pouze 7 kusů a jeho volba by tak mohla být mírně v rozporu s tím, co bylo řečeno úvodem, tedy že práce se bude zabývat výhradně sériově vyráběnými letouny. Stejně jako v kategorii obecného letectví, jsou i oba stroje v kategorii malých dopravních letounů kachní koncepce.

V kategorii velkých dopravních letadel se nekonvenční letouny prakticky nevyskytují. Výjimkou jsou pouze dva zmíněné nadzvukové dopravní letouny Concorde a Tupolev Tu-144. Možnost nadzvukového letu se však sama o sobě nedá považovat za důvod, proč jsou tyto dva stroje zmíněny v přehledu nekonvenčních koncepcí. Letouny jsou zde zmíněny, jelikož spadají do kategorie takzvaných bezocasých letadel, tzn., že nemají vodorovné ocasní plochy. Ruský letoun Tupolev Tu-144 je navíc koncipován jako kachna.

Do vývoje vojenského letectví se vždy investovaly obrovské investice. I z tohoto důvodu se zde vyskytuje poměrně velké množství nekonvenčních letounů. Zástupcem již zmíněného létajícího křídla je nejen B-2 Spirit, ale také F-117 Nighthawk, který je navíc opatřen ocasními plochami ve tvaru písmene V, podobně jako Beechcraft Bonanza G35 v kategorii obecného letectví. U vojenských letounů se dále vyskytují kachny, jako například Jas-39 Gripen, letouny s obráceným šípem Sukhoi Su-47, či Grumman X-29. Tyto letouny, myšleno letouny s obráceným šípem, však byly vyrobeny pouze jako prototypy, a proto jim není věnován větší prostor. Další nekonvenční koncepce, kterou využívají například stíhací

letouny Mirage, je takzvané delta křídlo, které má vysoký vztlak a vychází z něj gotické křídlo nadzvukového dopravního letounu Concorde.

Závěrem je třeba konstatovat, že nelze jednoznačně říci, že by nekonvenční koncepce přinášely výhradně výhody, popřípadě nevýhody, oproti konvenčním. Při návrhu letounu je vždy třeba vzít v úvahu veškeré aspekty jeho budoucího provozu, jako je například oblast využití letounu, požadavky na rychlost, dolet, počet přepravovaných pasažérů a podobně, a následně volit koncepci vhodnou pro ten který letoun.

Seznam použitých zdrojů:

Literární zdroje:

- [1] JACKSON, Paul. *Jane's All The World's Aircraft 2007-2008*. United Kingdom: Cambridge University Press, 2007. 973 s. ISBN 0-7106-2792-6.
- [2] JACKSON, Paul. *Jane's All The World's Aircraft 2004-2005*. United Kingdom: Cambridge University Press, 2004. 860 s. ISBN 0-7106-2614-2.
- [3] JACKSON, Paul. *Jane's All The World's Aircraft 1996-1997*. United Kingdom: Cambridge University Press, 1996. 838 s. ISBN 0-7106-1377-6.
- [4] JACKSON, Paul. *Jane's All The World's Aircraft 1984-1985*. United Kingdom: Cambridge University Press, 1984. 948 s.
- [5] ČSN 31 0001 – Letectví a kosmonautika – Terminologie

Internetové zdroje:

- [10] *Easa.europa.eu* [online]. 2003 [cit. 2010-04-16]. Dostupné z WWW: <http://www.easa.europa.eu/ws_prod/g_cs/g_about.php>.
- [11] SLAVĚTÍNSKÝ, Dušan. *Dušan Slavětinský: O letadlech* [online]. 9.6.2008 [cit. 2010-04-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.slavetind.cz/Stavbaletadel.aspx>>.

Evektor EuroStar SL

- [12] NOVOTNÝ, Vojta. *Aeroweb* [online]. 30.4.2009 [cit. 2010-04-16]. Evektor-Aerotechnik představil nový Eurostar SLW. Dostupné z WWW: <<http://aeroweb.cz/clanek.asp?ID=1635&kategorie=30>>.
- [13] *Evektor* [online]. 2009 [cit. 2010-04-16]. EuroStar. Dostupné z WWW: <<http://www.evektor.cz/eurostar/>>.
- [14] *Evektor* [online]. 2009 [cit. 2010-04-16]. Technical Specification. Dostupné z WWW: <<http://www.evektor.cz/eurostarslw/specification.asp>>.
- [15] *Wikipedia* [online]. 31.1.2010 [cit. 2010-04-16]. Evektor SportStar. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Evektor_SportStar>.

- [16] *Pilotfriend* [online]. 2009 [cit. 2010-04-16]. EV-97 Eurostar. Dostupné z WWW: <<http://aeroweb.cz/clanek.asp?ID=1635&kategorie=30>>.

Ikarus C42

- [17] *Wikipedia* [online]. 14.4.2010 [cit. 2010-04-16]. Ikarus C42. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Ikarus_C42>.
- [18] *Aerosport* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. C42. Dostupné z WWW: <<http://www.aerosportuk.com/acatalog/ikarus-c42.html>>.
- [19] *Fly c42* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. Ikarus C42. Dostupné z WWW: <<http://www.flyc42.co.uk/>>.

Europa XS

- [20] *Wikipedia* [online]. 14.2.2010 [cit. 2010-04-16]. Europa XS. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Europa_XS#cite_note-KitPlanes-1>.
- [21] *Europa Aircraft* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. Home Page. Dostupné z WWW: <<http://www.europa-aircraft.com/>>.

Rutan VariEze

- [22] JACKSON, Robert. *Aviastar* [online]. 2004 [cit. 2010-04-16]. Rutan VariEze. Dostupné z WWW: <http://www.aviastar.org/air/usa/rutan_varieze.php>.
- [23] GUILLEMETTE, Roger. *U.S. Centennial of Flight Commission* [online]. 1995 [cit. 2010-04-16]. Rutan Aircraft Designs. Dostupné z WWW: <http://www.centennialofflight.gov/essay/GENERAL_AVIATION/rutan/GA15.htm>.
- [24] MALONEY, Bill. *Fourfold* [online]. 19.3.2008 [cit. 2010-04-16]. Rutan Varieze. Dostupné z WWW: <<http://www.fourfold.org/billm/Aviation/MidAtlanticAirMuseum/OtherIndoorExhibits/pages/10RutanVarieze.htm>>.
- [25] *Wikipedia* [online]. 23.12.2009 [cit. 2010-04-16]. Rutan VariEze. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Rutan_VariEze>.
- [26] *Aviation history* [online]. 1997 [cit. 2010-04-16]. Rutan VariEze. Dostupné z WWW: <http://www.aviation-history.com/garber/vg-bldg/rutan_varieze-1_f.html>.
- [27] *Smithsonian National Air and Space Museum* [online]. 1995 [cit. 2010-04-16]. Rutan VariEze. Dostupné z WWW: <<http://www.nasm.si.edu/collections/artifact.cfm?id=A19860067000>>.

- [28] *Aviation Enthusiast Corner* [online]. 2002 [cit. 2010-04-16]. Rutan Vari-Eze. Dostupné z WWW: <<http://www.aero-web.org/specs/rutan/rut-vari.htm>>.

Bede BD-5

- [29] JIMÉNEZ, Juan. *BD-5* [online]. 1999 [cit. 2010-04-16]. At Last the Real 200-mph, 38-mpg, \$2965 BD-5!. Dostupné z WWW: <<http://bd5.com/PSBD5Text.htm>>.
- [30] *BD-MICRO* [online]. 1997 [cit. 2010-04-16]. Home of the BD-5 Aircraft. Dostupné z WWW: <<http://www.bd-micro.com/>>.
- [31] *Stark Ravings* [online]. 1997 [cit. 2007]. The BD-5 Restoration . Dostupné z WWW: <http://www.starksravings.com/bd_5/bd_5_program.htm>.
- [32] *Aviation history* [online]. 1997 [cit. 2010-04-16]. Bede 5. Dostupné z WWW: <http://www.aviation-history.com/garber/vg-bldg/bede_5-1_f.html>.
- [33] *Wikipedia* [online]. 1.4.2010 [cit. 2010-04-16]. Bede BD-5. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Bede_BD-5>.

Cirrus SR22

- [34] GREENSPUN, Philip. *Philip Greenspun* [online]. 2005 [cit. 2010-04-16]. Cirrus SR20. Dostupné z WWW: <<http://philip.greenspun.com/flying/cirrus-sr20>>.
- [35] GOYER, Robert. *Flying Magazine* [online]. 2009 [cit. 2010-04-16]. 2009 Cirrus SR22 . Dostupné z WWW: <<http://www.flyingmag.com/pilot-reports/pistons/2009-cirrus-sr22?page=0,2>>.
- [36] HIGDON, Dave. *AVweb* [online]. 9.6.2002 [cit. 2010-04-16]. Smokin' Cousin: The Cirrus SR22 . Dostupné z WWW: <<http://www.avweb.com/news/newacft/181605-1.html>>.
- [37] *Cirrus Aircraft* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. SR22. Dostupné z WWW: <<http://cirrusaircraft.com/sr22/>>.
- [38] *Factory Direct Models* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. Cirrus SR22 Scale Model Airplane . Dostupné z WWW: <<http://www.factorydirectmodels.com/mto-ga/CPCSR22.html>>.
- [39] *Plane & Pilot Magazine* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. 2001 Cirrus SR22 N140CD. Dostupné z WWW: <<http://www.planeandpilotmag.com/aircraft/specifications/cirrus/2001-cirrus-sr22-n140cd.html>>.
- [40] *Wikipedia* [online]. 28.2.2010 [cit. 2010-04-16]. Cirrus SR22. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Cirrus_SR22>.

- [41] *Cirrus SR22 Blog* [online]. 16.10.2007 [cit. 2010-04-16]. Choices, Choices: SR22 Turbo or “Normally Aspirated”?. Dostupné z WWW: <<http://sr22.wordpress.com/2007/10/16/choices-choices-sr22-turbo-or-normally-aspirated/>>.

Diamond DA42

- [42] *Diamond Air* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. DA42 NG . Dostupné z WWW: <<http://www.diamond-air.at/da42ng+M52087573ab0.html>>.
- [43] *Wikipedia* [online]. 5.3.2010 [cit. 2010-04-16]. Diamond DA42. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Diamond_DA42>.

Cessna 337 Skymaster

- [44] *Cessna Skymaster Web Site* [online]. 1995 [cit. 2010-04-16]. History of the Skymaster. Dostupné z WWW: <<http://www.skymaster.org.uk/history.asp>>.
- [45] *ERJets* [online]. 1998 [cit. 2010-04-16]. Cessna 337 Electric Conversion. Dostupné z WWW: <<http://www.erjets.com/custom2.html>>.
- [46] *Aviation Trivia* [online]. 1998 [cit. 2010-04-16]. Cessna Skymaster. Dostupné z WWW: <<http://www.aviationtrivia.info/Cessna-Skymaster.php>>.
- [47] *Wikipedia* [online]. 13.4.2010 [cit. 2010-04-16]. Cessna Skymaster. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Cessna_Skymaster>.

Beechcraft Bonanza G35

- [48] *U.S. Centennial of Flight Commission* [online]. 2000 [cit. 2010-04-16]. The Beechcraft Bonanza. Dostupné z WWW: <http://www.centennialofflight.gov/essay/GENERAL_AVIATION/bonanza/GA10.htm>.
- [49] *Airliners.net* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. The Raytheon Beechcraft Bonanza. Dostupné z WWW: <<http://www.airliners.net/aircraft-data/stats.main?id=324>>.
- [50] *Beechcraft: Home* [online]. 2000 [cit. 2010-04-16]. Bonanza G36. Dostupné z WWW: <http://www.hawkerbeechcraft.com/beechcraft/bonanza_g36/>.
- [51] *Pilotfriend* [online]. 2000 [cit. 2010-04-16]. Beech G 35 Bonanza performance and specifications. Dostupné z WWW: <<http://www.pilotfriend.com/aircraft%20performance/Beech/beech2/28.htm>>.
- [52] *The Skytamer Archive* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. Beechcraft Bonanza Model S35. Dostupné z WWW: <http://www.skytamer.com/Beechcraft_35S.html>.

- [53] *Wikipedia* [online]. 2.4.2010 [cit. 2010-04-16]. Beechcraft Bonanza. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Beechcraft_Bonanza>.

Velocity XL

- [54] *Catto Propellers Home* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. Velocity XL Props. Dostupné z WWW: <http://www.cattoprops.com/html/velocity_xl_props.html>.
- [55] *Velocity Aircraft* [online]. 2008 [cit. 2010-04-16]. XL-5 Edition Option. Dostupné z WWW: <<http://www.velocityaircraft.com/airplane-models-xl5.html>>.
- [56] *Wikipedia* [online]. 23.2.2010 [cit. 2010-04-16]. Velocity XL. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Velocity_XL>.
- [57] *J. Bujanda* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. VELOCITY XL FG N478B. Dostupné z WWW: <<http://www.jbujanda.com/Aircraft.html>>.

King Air B200

- [58] *Aerospace Technology* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. Hawker Beechcraft Beech King Air B200 Twin-Turboprop Transport and Utility Aircraft, USA. Dostupné z WWW: <http://www.aerospace-technology.com/projects/raytheon_bk_air200/>.
- [59] *Airliners.net* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. The Raytheon Beechcraft King Air 200. Dostupné z WWW: <<http://www.airliners.net/aircraft-data/stats.main?id=328>>.
- [60] *Wikipedia* [online]. 14.4.2010 [cit. 2010-04-16]. Beechcraft Super King Air. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Beechcraft_Super_King_Air>.

Beechcraft 1900D

- [61] *Wikipedia* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. Beechcraft 1900. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Beechcraft_1900>.

Let L-410

- [62] *Airliners.net* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. The Let L-410 & L-420. Dostupné z WWW: <<http://www.airliners.net/aircraft-data/stats.main?id=50>>.
- [63] *AVIATORSALE.COM* [online]. 2000 [cit. 2010-04-16]. 1990 Let L-410. Dostupné z WWW: <<http://www.aviatorsale.com/aix6134/>>.
- [64] *LET Aircraft Industries* [online]. 2006 [cit. 2010-04-16]. L 410 UVP-E20 / L 420. Dostupné z WWW: <http://www.let.cz/index.php?sec=12&selected=0&other_text=1&ndps=Performance&letadlo_id=6>.

- [65] *Wikipedia* [online]. 5.2.2010 [cit. 2010-04-16]. Let L-410 Turbolet. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Let_L-410>.

Beechcraft Starship 2000

- [66] *Pilotfriend* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. Beech Starship history, performance and specifications. Dostupné z WWW: <<http://www.pilotfriend.com/aircraft%20performance/Beech/starship.htm>>.
- [67] *Airliners.net* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. The Beech 2000 Starship 1. Dostupné z WWW: <<http://www.airliners.net/aircraft-data/stats.main?id=69>>.
- [68] *Robert Scherer Home Page* [online]. 2008 [cit. 2010-04-16]. Robert Scherer's Frequently Asked Questions. Dostupné z WWW: <<http://rps3.com/Pages/Starship-FAQ.htm>>.
- [69] *Wikipedia* [online]. 16.4.2010 [cit. 2010-04-16]. Beechcraft Starship. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Beechcraft_Starship>.

Piaggio P180 Avanti

- [70] *Piaggio Aero* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. P180 Avanti II. Dostupné z WWW: <<http://www.piaggioaero.com/#/en/products/p180-avanti-ii/overview>>.
- [71] *Aerospace Technology* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. Piaggio P180 Avanti II Twin-Engine Turboprop Business Aircraft , Italy. Dostupné z WWW: <<http://www.aerospace-technology.com/projects/piaggio/>>.
- [72] *Airliners.net* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. The Piaggio P.180 Avanti. Dostupné z WWW: <<http://www.airliners.net/aircraft-data/stats.main?id=295>>.
- [73] *Private Jet Solutions by Jet Advisors* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. Piaggio P-180 Avanti. Dostupné z WWW: <<http://www.jetadvisors.com/aircrafts/Piaggio-P-180-Avanti.htm>>.
- [74] *Abacus Main Menu* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. Piaggio P180 Avanti . Dostupné z WWW: <<http://www.abacuspublisher.com/platinum/catalog/s655.htm>>.
- [75] *Buy Planes For Sale* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. Piaggio P.180 Avanti Performance Data. Dostupné z WWW: <<http://www.buyplanesforsale.com/aircraft/piaggio/p-180-avanti/1748/>>.
- [76] *FlightSim Developers* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. The Piaggio P180 Avanti. Dostupné z WWW: <<http://www.fsd-international.com/Hangar/Avanti/>>.
- [77] *Wikipedia* [online]. 25.3.2010 [cit. 2010-04-16]. Piaggio P.180 Avanti. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Piaggio_P.180_Avanti>.

Concorde

- [78] *CONCORDE SST - The Definitive Concorde Aircraft Site on the Internet* [online]. 2005 [cit. 2010-04-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.concordesst.com/>>.
- [79] *Global Aircraft* [online]. 2007 [cit. 2010-04-16]. Concorde. Dostupné z WWW: <<http://www.globalaircraft.org/planes/concorde.pl>>.
- [80] *GlobalSecurity.org* [online]. 23.1.2009 [cit. 2010-04-16]. Concorde Supersonic Transport. Dostupné z WWW: <<http://www.globalsecurity.org/military/world/europe/concorde.htm>>.
- [81] *Wikipedia* [online]. 15.4.2010 [cit. 2010-04-16]. Concorde. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Concorde>>.

Tupolev Tu-144

- [82] *Aviation Trivia* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. Tupolev Tu-144 SST. Dostupné z WWW: <<http://www.aviationtrivia.info/Tupolev-Tu-144-SST.php>>.
- [83] *Wikipedia* [online]. 14.4.2010 [cit. 2010-04-16]. Tupolev Tu-144. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Tupolev_Tu-144>.
- [84] *Wikipedie* [online]. 28.3.2010 [cit. 2010-04-16]. Tupolev Tu-144. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Tupolev_Tu-144>.

B-2 Spirit

- [85] BERKA, Tomáš. *Valka.cz* [online]. 14.6.2003 [cit. 2010-04-16]. Northrop B-2 Spirit a jeho verze. Dostupné z WWW: <http://www.valka.cz/clanek_1046.html>.
- [86] *Northrop Grumman Corporation - A Leader in Global Security* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. B-2 Spirit Bomber. Dostupné z WWW: <<http://www.as.northropgrumman.com/products/b2spirit/index.html>>.
- [87] *Military* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. Současné americké vojenské letouny. Dostupné z WWW: <http://www.military.cz/usa/air/in_service/aircraft/b2_spirit/b2_spirit.htm>.
- [88] *Wikipedia* [online]. 13.4.2010 [cit. 2010-04-16]. B-2 Spirit. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/B-2_Spirit>.
- [89] *Federation of American Scientists* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. B-2 Spirit. Dostupné z WWW: <<http://www.fas.org/programs/ssp/man/uswpns/air/bombers/b2.html>>.

-
- [90] *Letectví.cz : Letecký informační server* [online]. 27.3.2003 [cit. 2010-04-16]. Představujeme bombardovací letoun B-2 Spirit. Dostupné z WWW: <<http://www.letectvi.cz/letectvi/Article2452.html>>.
- [91] *GlobalSecurity.org* [online]. 23.2.2008 [cit. 2010-04-16]. B-2 Spirit. Dostupné z WWW: <<http://www.globalsecurity.org/wmd/systems/b-2.htm>>.
- [92] *Aerospaceweb.org* [online]. 2007 [cit. 2010-04-16]. Northrop Grumman B-2 Spirit Intercontinental Strategic Bomber. Dostupné z WWW: <<http://www.aerospaceweb.org/aircraft/bomber/b2/>>.
- [93] *Fiddlersgreen* [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. Northrop B-2 Spirit. Dostupné z WWW: <<http://www.fiddlersgreen.net/models/aircraft/Northrop-B2.html>>.

Zdroje obrázků:

- [94] Obr. 1: <http://fs.textcube.com/blog/2/23645/attach/XIbxnsHGUH.jpg>
- [95] Obr. 2: <http://sites.google.com/site/variezesst/Klausbanking2.jpg>
- [96] Obr. 3: <http://www.aircraftdesign.com/varieze.jpg>
- [97] Obr. 4: http://www.wmof.com/bd_5_30m.jpg
- [98] Obr. 5: http://www.rc-pilot.info/forum/uploads/PZDdesign/2009-10-29_181026_007_james_bond_Bede_BD_5_by_bagera3005.png
- [99] Obr. 6: http://www.letsfly.org/cooperatives/images/pictures/c42_large.jpg
- [100] Obr. 7: <http://cdn-www.airliners.net/aviation-photos/middle/3/4/7/1105743.jpg>
- [101] Obr. 8: <http://www.the-blueprints.com/blueprints-depot/ww2planes/various/cirrus-sr22.gif>
- [102] Obr. 9: <http://www.styll.sk/wp-content/uploads/cirrus-sr22-gts.jpg>
- [103] Obr. 10: <http://cdn-www.airliners.net/aviation-photos/photos/4/8/0/0602084.jpg>
- [104] Obr. 11: http://www.tsb.gc.ca/eng/rapports-reports/aviation/2006/a06w0139/a06w0139_figure_1.gif
- [105] Obr. 12: <http://cdn-www.airliners.net/aviation-photos/photos/1/7/3/0887371.jpg>
- [106] Obr. 13: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5f/Beechcraft_Super_King_Air_B200_vr.jpg
- [107] Obr. 14: <http://www.aircav.com/recog/chp09/ch09aclist/c-12.gif>
- [108] Obr. 15: http://www.maquettes-papier.net/forumenpapier/images/uploads/JEJE/beechncraft_starship_001_965.jpg
- [109] Obr. 16: <http://www.pilotfriend.com/aircraft%20performance/images2/33.jpg>
- [110] Obr. 17: http://www.fly-corporate.com/dbaircraft/piaggio_piaggio_p180_avanti_ii_a.jpg
- [111] Obr. 18: http://www.slavetind.cz/stavba/koncepce/Koncepce1_0.aspx
- [112] Obr. 19: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Air_Labrador_Beech_1900D.jpg
- [113] Obr. 20: http://pwt.virtuallskies.net/images/screens/1410/uvpt_01.jpg
- [114] Obr. 21: http://www.allbestpictures.com/aircraft-air_france_concorde_picture.html
- [115] Obr. 22: <http://www.globalsecurity.org/military/world/europe/images/concorde-line1.gif>
- [116] Obr. 23: <http://www.aerospaceweb.org/aircraft/jetliner/tu144/>
- [117] Obr. 24: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/47/B-2_Spirit_original.jpg
- [118] Obr. 25: http://www.aerospaceweb.org/aircraft/bomber/b2/b2_schem_01.gif

Seznam použitých anglických zkratek:

AF	- Air France
BA	- British Airways
CS	- Certification Specification
GA	- General Aviation
JAR	- Joint Aviation Requirements
LSA	- Light sport aircraft
N/A	- Not Available
UL	- Ultralight
VLA	- Very light aircraft