VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

POROVNÁNÍ KONCEPCÍ ULTRALEHKÝCH LETOUNŮ SE SEDALY ZA SEBOU A VEDLE SEBE.

COMPARISON OF ULTRALIGHT AIRCRAFT CONCEPTIONS, WITH THE SEATS IN TANDEM AND
SIDE BY SIDE POSITIONS.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — MATĚJ HARTMAN
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. JIŘÍ HRADIL
SUPERVISOR

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Matěj Hartman

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:

Porovnání koncepcí ultralehkých letounů se sedaly za sebou a vedle sebe.

v anglickém jazyce:

Comparison of ultralight aircraft conceptions, with the seats in tandem and side by side positions.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Ultralehké letouny se v posledních letech staly důležitým produktem českého leteckého průmyslu. V drtivé většině používajícím koncepci se sedadly vedle sebe.

Cíle bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce je zpracovat přehled a popis letounů obou koncepcí a vybrat ty letouny, jež jsou pro danou koncepci typické. Dalším úkolem je porovnání těchto vybraných letounů a objasnění vlastností obou variant.

Seznam odborné literatury:

JACKSON P.: Jane's, All the World's Aircraft 2008-2009, FRAeS

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Hradil

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

V Brně, dne 20.11.2009

L.S.

prof. Ing. Antonín Píštěk, CSc. Ředitel ústavu	prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc. Děkan fakulty

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá ultralehkými letouny, jejich právní definicí a směrem jakým se budou ubírat právní normy v Evropské unii. Dále je zmíněna konstrukce letadel a materiály, které se v této kategorii používají a jejich vliv na vlastnosti letounu. Závěrem práce jsou jednotlivá letadla obou koncepcí porovnána z výkonnostního a ergonomického hlediska.

Klíčová slova: ultralehké letadlo, uspořádání sedadel za sebou, uspořádání se sedadly vedle sebe, konstrukce letadel

Abstract:

This Bachelor thesis considers ultra-light aircrafts. The main subjects are an interpretation clause of these aircrafts, their delimitation in terms of law and a development of European standards relating to these ultra-light aircrafts. Furthermore there is considered their construction and materials used for their building and an impact of these materials on aircrafts´s qualities. At the end all the individual aircrafts are compared in their efficiency and ergonomy.

Key words: ultralight aircraft, tandem seats, seat-by-seat, aircraft construction

Bibliografická citace bakalářské práce

HARTMAN, M. *Porovnání koncepcí ultralehkých letounů se sedaly za sebou a vedle sebe.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 23 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Hradil.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně za použití uvedených zdrojů, pod vedením vedoucího bakalářské práce Ing. Jiřího Hradila.

V Brně dne: 27. 5. 2010

Obsah

1 Úvod – Ultralehké a lehké sportovní letouny 1
2 Konstrukce: 2
2.1 Výškové uspořádání křídel 2
2.1.1 Příčná stabilita letounu: 2
2.1.2 Zatížení: 3
2.1.3 Další rozdíly v uspořádání: 3
2.2 Tvar křídel: 4
2.3 Materiály v konstrukci 6
3 Vybraná letadla: 6
3.1 Tandemové uspořádání: 7
3.1.1 Podešva Trener Baby 7
3.1.2 Mara wing L-1 Malamut 8
3.1.3 Zlin aviation (Russo) Savage: 9
3.1.4 New Avio C205 10
3.2 Letadla se sedadly vedle sebe 11
3.2.1 SKYLEADER 150/200 11
3.2.2 EUROSTAR SL 12
3.2.3 WT9 Dynamic 13
3.2.4 MH-46 Eclipse 14
4 Porovnání letadel 15
5 Závěr 19
6 Seznam použitých zdrojů 20
7 Seznam použitých zkratek: 23

1 Úvod – Ultralehké a lehké sportovní letouny

Cílem této bakalářské práce je porovnání konceptů ultralehkých letadel se sedadly za sebou a vedle sebe, srovnání jejich výkonů, typů konstrukcí, používaných materiálů a praktické využitelnosti. Budou uvedeny konstrukční prvky, které se u těchto letadel vyskytují, jejich vlastnosti a způsob jakým ovlivňují letadlo. Výsledkem práce bude uvedení kladů a záporů daných typů letadel.

Ultralehký letoun spadá do kategorie sportovních létajících zařízení (dále jen „SLZ“), které jsou konstruovány, vyrobeny a určeny k létání ve vzduchu výhradně za účelem vzdělávání, sportu nebo rekreace jeho uživatele.

SLZ dělíme na druhy: padákový kluzák, závěsný kluzák, ultralehký kluzák, motorový ultralehký kluzák, ultralehký letoun, motorový padákový kluzák, motorový vírník, bezmotorový vírník, ultralehký vrtulník, sportovní padák. [1]

Ultralehký letoun je dále vymezen vyhláškou 108/1997 Sb. § 24, odstavec 5 takto:

Ultralehký letoun je letoun, který je konstruován maximálně pro dvě osoby, řízený buď přesouváním těžiště pilota, nebo aerodynamickými prostředky, jehož pádová rychlost nepřevyšuje 65 km/h, jehož maximální vzletová hmotnost je 450 kg.

Pro úplnost zde ještě uvedu odstavec 11:

Maximální vzletovou hmotnost sportovního létajícího zařízení lze překročit pouze o hmotnost integrovaného záchranného systému v případě jeho zástavby. [2]

Tyto právní definice v podstatě určují výhody a nevýhody těchto letadel. Ultralehké letouny (zkr. ULL) je možné zakoupit jako stavebnici a postavit si dané letadlo doma, což výrazně snižuje pořizovací náklady a velké množství letounů je takto i koncipováno. Často se potkáváme s pravidlem 51%, kdy 49% nutných úprav připraví závod a zbylých 51% částí smontuje již uživatel sám. Doba potřebná ke smontování letadla se pohybuje obecně mezi 400 – 600 hodinami pro amatéry. Mezi další výhody patří celkem vysoké výkony, kterých dosahují moderní ULL a mohou se srovnávat s některými sportovními letadly.

Ve své kategorii SLZ, vychází ULL jako nejdražší a nejnákladnější na pořízení a provoz a získání licence opravňující řízení takového letadla je časově a finančně nejnáročnější.

Na druhou stranu nabízí tento typ letadel již komfort a pohodlí letadel vyšších kategorií, vysoké výkony, nízké pořizovací a provozní náklady a snadnější získání licence.

Nyní se v rámci Evropské unie provádí studie pro možné zavedení nové kategorie lehkých letadel – European light aircraft (ELA 1), jako reakce na situaci, slovy prezidenta European Microlight Federation (dále EMF), kdy: „Evropští výrobci ovládli americký trh v kategorii LSA, přičemž zde v EU tato letadla nemohla létat.“ [3]

Letouny spadající do kategorie ELA 1 jsou definovány, jako letadla s maximální vzletovou hmotností nepřevyšující 1200 kg kde motor není klasifikován jako složité zařízení a letoun je konstruován nanejvýš pro čtyři osoby. [4]

Tímto se tato kategorie míjí s Americkou LSA, kde letadla váží maximálně 600 kg a tak bude EMF usilovat o zavedení vlastní evropské kategorie LSA.

Od roku 2002 do roku 2005 můžeme sledovat vzrůstající oblibu ultralehkého létání při porovnání počtu modelů nabízených na trhu, přičemž ultralehké letouny zaznamenaly růst 58%, což je jedna z mála kategorií letadel, které takto rostou. Další, které zaznamenaly velký růst, jsou různá trysková letadla jak malá, osobní, tak větší. [5]

2 Konstrukce:

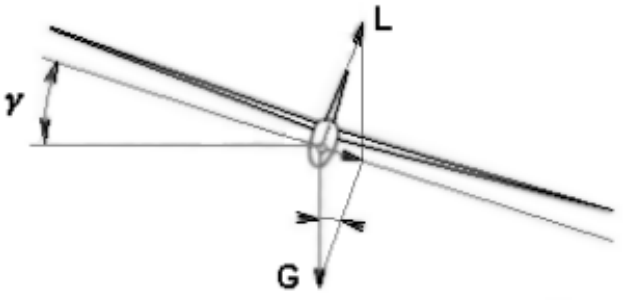
Ultralehká letadla jsou obecně jednodušší konstrukce, která umožňuje snadnou a nenákladnou údržbu, zakoupení letounu jako stavebnice a případné jednoduché rozložení pro převoz. Jejich konstrukce je omezena zejména maximální hmotností danou zákony, dostupnými materiály a technologiemi.

2.1 Výškové uspořádání křídel

Uspořádání křídel velkou vahou ovlivňuje příčnou stabilitu letounu, vnitřní uspořádání, rozložení zatížení a hmotnost.

2.1.1 Příčná stabilita letounu:

[6] Ve chvíli, kdy je letadlo nakloněno podle podélné osy, pak nakloněná vztlaková síla L spolu s tíží G vyvolají stranovou sílu, která způsobí pohyb letounu do strany.



Obrázek 1 – Rozložení sil při náklonu

Vzhledem ke změně způsobu obtékání křídel vznikne na návětrné straně vyšší přírůstek vztklakové síly a obrácně na závětrném křídle kde vztlak poklesne. Rozdílný vztlak na obou křídlech vyvolá klonivý moment. Kladné vzepětí křídla pak způsobí, že je tento moment stabilizující – moment působí proti náklonu.

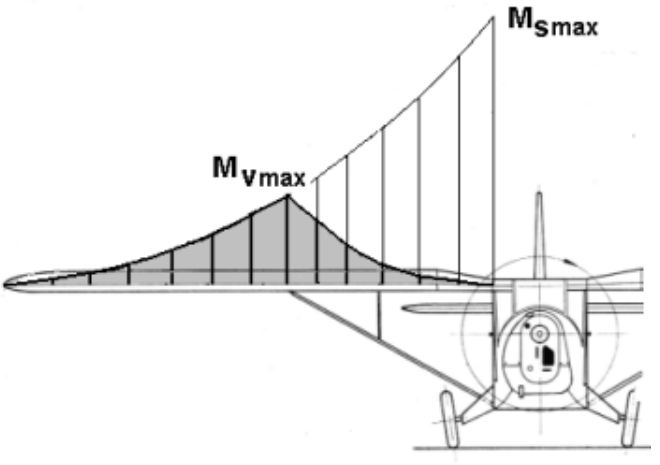
Vliv výškové polohy křídla:

Příčná složka rychlosti vybočeného letu vyvolává příčné proudění. Tento příčný proud obtéká trup a je trupem deformován. Zde záleží na výškové poloze křídla. V případě hornoplošného uspořádání má příčné obtékání křídla podobný účinek, jako

obtékání křídla s kladným vzepětím. Na křídlech vzniká klonivý, stabilizující moment. Dolnoplošné uspořádání má obrácený účinek a vzniká klonivý, destabilizující moment.

2.1.2 Zatížení:

[6] Další rozdíly nalezneme v křídlech, zda jsou křídla samonosná, či vzepřená. Níže na obrázku vidíme rozdíl, mezi rozložením ohybového momentu a maximálními hodnotami momentů u samonosného křídla (M_{smax}) a vzepřeného křídla (M_{vmax}) při stejném zatížení letounu. Při použití vzpěry, lze pozorovat 2÷3 krát menší zatížení momentem. To nám dovoluje zlehčit konstrukci nosníků a ušetřit tak na hmotnosti. Na druhou stranu vzpěra působí škodlivým aerodynamickým odporem, a proto se používá zřídka. Často se používají dvě vzpěry pro zachycení krutu křídla.



Obrázek 2 – Rozložení ohybového momentu po křídle

Samonosné křídlo je bez jakýchkoliv vnějších podpůrných prvků. Je tedy aerodynamicky čisté a poskytuje větší výkony, na druhou stranu je právě proto těžší, kdy musí nést násobně větší zatížení ohybovým momentem. Ten se poté dle konstrukce křídla do trupu buď přenáší u poloskořepinového či skořepinového křídla, nebo se daný ohybový moment do trupu nepřenáší, jedná li se o křídlo nosníkové.

2.1.3 Další rozdíly v uspořádání:

Hornokřídlé uspořádání:

[6, 7] Výhodou je malý odpor od interference křídlo-trup, trup je blízko země (dobré pro nástup cestujících) dobrý výhled dolů za letu. Těžiště letounu v tomto uspořádání leží níže, než jeho aerodynamický střed, což je velmi výhodné pro stranovou a podélnou stabilitu. Z letadla je velmi dobrý výhled při přímočarém letu a při vhodném prosklení kabiny je možné vidět téměř pod sebe. Zlin aviation Savage nabízí při hornoplošném uspořádání i výhled nahoru, nad hlavu pilota, díky prosklené kabině mezi křídly.

Nevýhodou je vyšší hmotnost – v případě havárie musí trup vydržet zatížení od křídla a ochránit cestující. Spodní část trupu musí být pro případ nouzového přistání také zesílena. Potřeba vysokých podvozků, pokud jsou na křídle, nebo podvozkové gondoly, pokud jsou na trupu (přírůstek 2-3% hmoty). Nutnost zvětšení SOP o 30-

50% – při vzletu jsou v úplavu za křídlem. „Hornokřídlé uspořádání se často používá u malých dopravních a velkých nákladních letounů.“ [6]

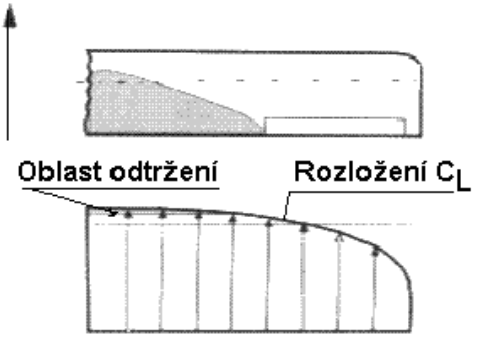
Dolnokřídlé uspořádání:

[6, 7] Snad nejčastější, protože šetří hmotnost, je výhodné při nouzovém přistání (masivní křídlo chrání cestující), snadno se uchytí podvozky bez speciálních gondol. U menších letounů je lepší přístup k motorům a palivovým nádržím. Musí se ale dobře vyřešit přechody křídlo-trup, jinak mohou způsobit velký odpor. Dále toto uspořádání umožňuje dobrý výhled při kroužení – křídlo nezakrývá prostor, okolo nějž kroužíme, ale naopak při přímočarém letu významně omezuje výhled z kabiny nad křídlem do prostoru pod letadlo.

2.2 Tvar křídel:

[6] Další prvek, který ovlivňuje vlastnosti letadla je tvar křídel. U ultralehkých letadel se setkáváme zejména s přímými křídly, kdy při úhlu šípu do 5°ti stupňů nemá šípovitost vliv na aerodynamické vlastnosti a výhoda šipovitých křídel se projevuje až u rychlostí blízkých rychlosti zvuku.

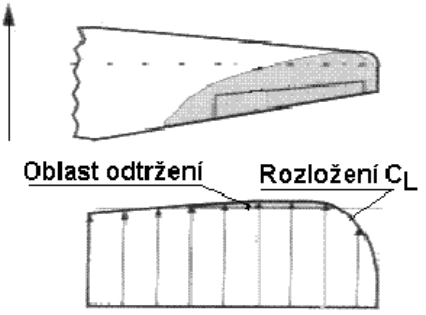
Významný vliv má půdorysný tvar křídel, kdy se potkáváme zejména s obdélníkovými křídly. Obdélníkové křídlo má nejvýhodnější letové vlastnosti pro ultralehká letadla, kde požadujeme nejnižší nároky na techniku pilotáže a nízkou cenu. Křídlo má konstantní hloubku a profil po celé délce a proto je jednodušší návrh takového křídla a také se zjednoduší výroba.



Obrázek 3 – Rozložení vztlaku po obdélníkovém křídle

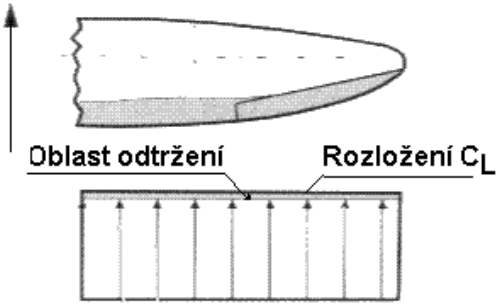
Při přetažení letadla a dosažení kritického úhlu náběhu dochází k odtržení proudu na křídle u trupu letadla. Zbytek křídel je obtékán a letoun je stále plně ovladatelný křidélky. Navíc odtržené víry vzduchu rozechvívají výškové kormidlo společně se svislou ocasní plochou a pilot toto může při přímém řízení cítit na řídící páce jako chvění, tedy varování před možným pádem. Z hmotnostního hlediska vychází tento tvar nejhůře, je nejtěžší.

Na hmotnost vychází lépe křídlo lichoběžníkového půdorysu a má také nižší indukovaný odpor. Nicméně u lichoběžníkového křídla dochází k odtržení proudu při přetažení na konci křídel, u křidélek. Navíc, nedochází zde k varování skrz rozechvění svislých a vodorovných ocasních ploch. Letoun se stává náhle neovladatelný a padá na křídlo, kde došlo k rychleji k odtržení proudu.



Obrázek 4 - Rozložení vztlaku po lichoběžníkovém křídle

Na nejmenší indukovaný odpor vychází nejlépe křídlo eliptické, které poskytuje nejrovnoměrnější rozložení vztlaku po křídle. Na druhou stranu zde dochází k odtržení proudu najednou, po celé délce křídla, a proto musí být křídla kroucená, což přináší zvýšení indukovaného odporu.



Obrázek 5 - Rozložení vztlaku po eliptickém křídle

Pro zamezení nebezpečného odtrhávání proudu na konci křídel se křídla aerodynamicky a geometricky kroutí. Výsledkem je jiný úhel, pod kterým je křídlo ofukováno u kořene křídla a na jeho konci, což vede ke zlepšení ovladatelnosti letadla při přetažení, nicméně tím současně dochází ke zvětšení odporu křídla. Kroucená křídla přinášejí další možnosti konstrukce, kdy je křídlo méně namáháno kroutícím i ohybovým momentem, může být tedy lehčí při zachování stejné pevnosti, jako u nekrouceného křídla. Vzhledem k důležitosti bezpečnosti letounů a tedy potřeby dobrých pádových vlastností, se s nekroucenými křídly téměř nepotkáme, i za cenu snížení výkonů.

Dále se můžeme potkat s různou kombinací uvedených typů, kdy část křídla, blíže trupu, je obdélníková a zbylá část je lichoběžníková, což přináší vhodné kombinace vlastností daných typů křídel.

2.3 Materiály v konstrukci

[7] Oproti počátku letectví, byly vyvinuty modernější materiály. Na počátku používané materiály jako dřevo, ocel a plátno jsou dneska nahrazovány slitinami lehkých kovů, zejména hliníku a speciálními legovanými ocelovými materiály. Dnes se začíná ve velké míře používat kompozitních materiálů, které mohou uspořit 15-25% hmotnosti letadla. Cílem vývoje materiálů používaných v letectví je dosažení dostatečně pevného materiálu s nízkou měrnou hustotou a vysokým modulem pružnosti.

Obrázek 6 - LH-10 Ellipse

U ultralehkých letadel se setkáváme s různou kombinací těchto materiálů, jako například u letounu New Avio C205, kde konstrukce křídel a draku jsou ze dřeva a potah je z uhlíkových vláken. Zajímavostí je letadlo LH-10 Ellipse. Jedná se z pohledu použitých materiálů o nejmodernější lehké letadlo. Celé je zkonstruováno z uhlíkových vláken a drak letadla se skládá pouze ze dvou skořepin. Jeho maximální vzletová hmotnost je 490kg a užitečné zatížení je 230kg. Z hmotnostního hlediska by tedy do kategorie ultralehkých letadel mohlo spadat, avšak jeho pádová rychlost je 109 km/h a proto spadá mezi sportovní letadla. Jako motor používá Rotax 912 ULS, přičemž cestovní rychlost je 185 km/h, maximální rychlost je 370 km/h a nepřekročitelná rychlost letu je u tohoto letounu 450 km/h. Navíc je možné toto letadlo zakoupit jako stavebnici, kdy 49% připraví továrna a zbylých 51% si postaví člověk sám. Svou koncepcí, zpracováním, použitou technologií se řadí mezi nejmodernější lehká letadla. [8]

3 Vybraná letadla:

Dle [5] se v letech 2008-2009 na trhu vyskytovalo celkem 151 typů ultralehkých letadel. Z nich je 22 (15%) s tandemovým uspořádáním sedadel a zbylých 129 (85%) je se sedadly vedle sebe. Proto byla pro porovnání vybrána letadla s tandemovým uspořádáním sedadel a poté k nim na základě podobnosti konstrukce byla vybrána letadla se sedadly vedle sebe.

3.1 Tandemové uspořádání:

3.1.1 Podešva Trener Baby

Obrázek 7 - Podešva Trener Baby

[5, 9] Prototyp tohoto letadla postavil Petr Podešva jako ultralight repliku Zlínu 126 Trenér. Sériová verze byla postavena synem Tomášem Podešvou v Hranicích. Certifikován byl 18. února 2003, o rok později v Německu a o další rok později ve Francii.

Letadlo je replika Zlínu 126 zmenšená na 80% kromě kokpitu, který zůstal v původní velikosti. Jde tedy o dolnokřídlé uspořádání, drak letadla je z ocelových trubek příhradové konstrukce pokrytý textilií a křídla jsou dřevěná, přímá, lichoběžníkového tvaru s hliníkovou náběžnou hranou. VOP a SOP mají duralovou konstrukci potaženou plátnem. Podvozek může být jak zatahovací, tak pevný, ostruhový. Jako pohonná jednotka slouží Walter Mikron III čtyř-válec poháněj ící dvoulistou, dřevěnou, elektronicky přestavitelnou vrtuli Křemen.

Rozpětí:	8,68 m
Délka:	6,52 m
Výška:	1,80 m
Nosná plocha:	10,8 m^2
Prázdná hmotnost:	296 kg
Maximální rychlost:	225 km/h
Cestovní rychlost:	175 km/h
Pádová rychlost (s klapkami):	65 km/h
Výkon motoru:	48,5 kW
Objem nádrže:	35 l
Dolet:	800 km
Cena:	1 210 000,-

3.1.2 Mara wing L-1 Malamut

[5, 10] Prototyp tohoto letadla vzletěl v roce 2003 s imatrikulační značkou OK – IUG 10. Jméno je odvozeno z plemene statného Aljašského psa.

Obrázek 8 – Mara wing L-1 Malamut

Letadlo je hornoplošník s V-podpěrami křídel, která jsou obdélníkového tvaru. Trup je skořepinový, přišroubovaný ke svařované konstrukci kabiny z ocelových trubek. Řízení je konvenční, manuální, 3stupňové a pro snížení pádové rychlosti jsou použity Fowlerovy klapky. Křídla jsou potažena plátnem. Letadlo nabízí možnost vystřelovacího záchranného padáku GRS 450. Podvozek je ostruhový, pevný s řiditelným ocasním kolem. Mezi motory je na výběr Rotax 921 UL boxer, Rotax 912 ULS a Jabiru 2200. Vrtule je dřevěná, dvoulistá.

Rozpětí:	10,10 m
Délka:	6,8 m
Výška:	2,15 m
Nosná plocha:	15,10 m^2
Prázdná hmotnost:	280 kg
Maximální rychlost:	200 km/h
Cestovní rychlost:	180 km/h
Pádová rychlost (s klapkami):	52 km/h
Výkon motoru:	58 kW
Objem nádrže:	80 l
Dolet:	800 km
Cena (2003):	2 300 000,-

3.1.3 Zlin aviation (Russo) Savage:

Obrázek 9 – Zlin aviation Savage

[5] V USA též znám pod obchodním jménem Savage Cub. Letadlo poprvé vzlétlo v roce 1997 v Itálii. Počáteční vývoj probíhal v Itálii se součástkami vyráběnými v Čechách a nyní je celý program přemístěn do České Republiky. První schválený typ v Čechách byl k vidění v roce 2003. Zpětně pojmenován jako Savage Classic, je nabízen jako kompletní letadlo, nebo stavebnice. Letadlo má chrom molybdenovou svařovanou příhradovou konstrukci, nosníky křídel hliníkové a vše potaženo tkaninou. Kapota motoru je z kompozitních materiálů. Podvozek je nezatahovací ostruhový s řízeným ocasním kolem. Letadlo nabízí širokou škálu motorů, doporučovaný je Rotax 912 UL, případně další typy motorů Rotax, Jabiru, Limbach, BMW a Subaru.

Letadlo poskytuje dobrý výhled do okolí i výhled přímo nad hlavu pilota a ergonomické ovládání řízení, což umožňuje komfortní a bezpečnější cesty na větší vzdálenosti.

Rozpětí:	9,31 m
Délka:	6,39 m
Výška:	2,03 m
Nosná plocha:	14,20 m^2
Prázdná hmotnost:	288 kg
Maximální rychlost:	205 km/h
Cestovní rychlost:	170 km/h
Pádová rychlost: (s klapkami)	58 km/h
Výkon motoru:	58 kW
Objem nádrže:	68 l
Dolet:	858 km
Cena (2005):	1 200 000,-

3.1.4 New Avio C205

Obrázek 10 – New Avio C205

[11] Letadlo pochází z Itálie, z Umbrie, kde ho zkonstruoval Giuseppe Pambuffetti. Celé letadlo je kompletně stavěné ručně, pro zajištění vysoké kvality. Jedná se o dřevěnou konstrukci, kde drak letadla je vyztužen pruty ze slitin hliníku, a celý potah je z uhlíkových vláken. Všechny úchyty jsou vyztuženy ocelovými nebo slitinovými pláty. Podvozek je zatahovací, ostruhového typu. Křídla jsou též dřevěná, potahovaná kompozity z uhlíkových vláken. Jsou přímá, lichoběžníkového tvaru. Řízení je zdvojené, nicméně přístroje se nacházejí pouze v přední části, což může být nevýhodné například pro trénink pilotů. Klapky jsou elektricky ovládané. V nabídce je pouze motor Rotax 912 ULS a na výběr je z dvoulisté, nebo tříliste vrtule stavitelné pomocí elektrického a hydraulického systému. Letadlo dovoluje přetížení +6/-6 G a bylo dokonce testováno do porušení na +9/-9 G a proto je možné ho využít k akrobacii, ačkoliv toto není v České Republice dovoleno. V Itálii jej používá skupina Walter's Bad.

Rozpětí:	8,3 m
Délka:	7,1 m
Výška:	1,78 m
Nosná plocha:	8,22 m^2
Prázdná hmotnost:	282 kg
Maximální rychlost:	260 km/h
Cestovní rychlost:	230 km/h
Pádová rychlost: (s klapkami)	65 km/h
Výkon motoru:	69 kW
Objem nádrže:	110 l
Dolet:	1100 km
Cena:	2 060 000,-

3.2 Letadla se sedadly vedle sebe

3.2.1 SKYLEADER 150/200

[12,13] Skyleader vznikal jako letadlo KP-U2 Sova ve spolupráci Leteckého ústavu VUT Brno, kde byl hlavním konstruktérem prof. Ing. Antonín Píštěk CSc. a Jihlavan airplanes a.s. Letoun získal Typový průkaz (certifikát) podle předpisu LA-2 Letecké Amatérské Asociace České republiky v září roku 1997.

Obrázek 11 - Skyleader (KP-U2 Sova)

Letoun je celokovový z duralové slitiny, dolnoplošník se zatahovacím, případně pevným, podvozkem příďového typu s řízeným předním kolem, kdy se podvozek neuzavře celý do letadla, ale částečně vyčnívá ven. Je to z bezpečnostních důvodů, aby při nouzovém přistání nedošlo k velkému poškození trupu. Křídla jsou přímá obdélníkového půdorysu, demontovatelná pro převoz, s konci konstruovanými pro zmenšení indukovaného odporu. Byly použity rozměrné Fowlerovy vztlakové klapky a letoun má tedy velmi nízkou pádovou rychlost 50 km/h. Jako pohonná jednotka jsou použity motory Rotax 912 UL/ULS a Rotax 914 UL. Ve standardní verzi s pevnou třílistou vrtulí, nebo mechanicky, či elektricky za letu stavitelnou dvoulistou nebo třílistou vrtulí. Trochu atypické je uspořádání kabiny, kdy je pravé sedadlo posunuto o 200 mm vzad a tak mohl být zmenšen čelní průřez a zlepšen aerodynamický odpor. Letadlo může být vybaveno záchranným padákovým systémem a je možné ho dodat jako stavebnici.

Rozpětí:	9,9 m
Délka:	7,0 m
Výška:	2,6 m
Nosná plocha:	11,85 m^2
Maximální rychlost:	220 km/h
Cestovní rychlost:	200 km/h
Pádová rychlost: (s klapkami)	50 km/h
Výkon motoru:	58 kW
Objem nádrže:	64 l
Dolet:	760 km
Cena:	1 700 000,-

3.2.2 EUROSTAR SL

Obrázek 12 - Eurostar SL

[14,15] Eurostar vznikl ve společnosti Evektor, která spolupracuje s Leteckým ústavem VUT Brno, kdy vývoj tohoto letounu začal v roce 1996. Celé letadlo je kovové z duralových slitin a koncem roku 2008 proběhlo omlazení letadla, tzv. facelift, kdy byly na nosný drak letadla implementovány laminátové díly, které umožnily například rozšíření kabiny a přidání další průzorů. Celá konstrukce je nýtovaná a lepená. Podvozek je příďového typu, tříkolový, pevný s řiditelným předním kolem. Křídla jsou přímá, obdélníková se zakončením pro zmenšení indukovaného odporu. Letadlo může být zakoupeno jako stavebnice, kdy je dle výrobce doba potřebná k sestavení letadla pouhých 200 hodin. Eurostar SL je první ULL v České Republice, které bylo certifikováno pro vlekání kluzáků. Maximální vzletová hmotnost (MTOM) kluzáku je 700 kg, což je dostačující i pro dvojsedadlové větroně např. Duo Discuss. Jako pohonnou jednotku používá motory Rotax 912 UL/ULS s pevnou, na zemi nebo za letu stavitelnou vrtulí. Letoun může být dovybaven balistickým záchranným systémem.

Rozpětí:	8,1 m
Délka:	5,98 m
Výška:	2,48 m
Nosná plocha:	10,13 m^2
Prázdná hmotnost:	276 kg
Maximální rychlost:	240 km/h
Cestovní rychlost:	200 km/h
Pádová rychlost: (s klapkami)	65 km/h
Výkon motoru:	69 kW
Objem nádrže:	65 l
Dolet:	750 km
Cena:	1 700 00,-

3.2.3 WT9 Dynamic

Obrázek 13 - Dynamic

[16, 17, 18] Dvoumístné ultralehké letadlo WT9 Dynamic je vyráběné slovenskou firmou Aerospool, s.r.o. na letišti v Prievidzi. Jedná se o dolnoplošník s podvozkem příďového typu s řízeným předním kolem. Letadlo je kompletně z kompozitních materiálů s uhlíkovou tkaninou. Podvozek je možný zatahovací, nebo pevný. Celé letadlo je konstruováno pro pohodlné cestování na delší vzdálenosti, čemuž odpovídá dolet a možnost rozšíření objemu nádrží až na 125 l. Lze si vybrat mezi motory Rotax 912 UL a 912 ULS. Jako jedno z mála letadel je verze CLUB T vybaveno vlekacím zařízením pro vlekání kluzáků do MTOM 750 kg a je tedy celkem rozšířen, právě pro levné a výkonné vlekání. Letoun patří mezi velmi moderní stroje a snaží se vyjít vstříc zákazníkům širokou škálou doplňků a rozšíření.

Rozpětí:	9,0 m
Délka:	6,4 m
Výška:	2,0 m
Nosná plocha:	10,3 m^2
Prázdná hmotnost:	275 kg
Maximální rychlost:	270 km/h
Cestovní rychlost:	220 km/h
Pádová rychlost: (s klapkami)	60 km/h
Výkon motoru:	69 kW
Objem nádrže:	75 l
Dolet:	1200 km
Cena:	1 600 000,-

3.2.4 MH-46 Eclipse

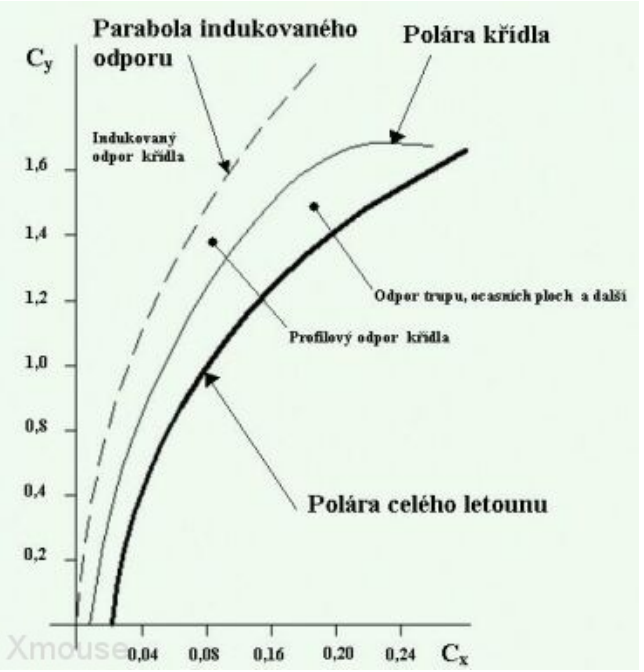
[19, 21] V roce 2002 započala výroba letadla MH-45 ve firmě AeroSette, která je dceřinou společností firmy H&K Construction. Firma AeroSette poté převzala dokončený vývoj letounu MH-46 a pokračuje v jeho výrobě. Tedy MH-46 Eclipse je již modernější verze ultralehkého letouny, se sedadly vedle sebe s hornoplošným uspořádáním. Jedná se o celokompozitový letoun jehož základem je sendvičová skořepina tvořená skelným laminátem a přetvarovanou konstrukční pěnou. Tvar trupu je navržen tak, aby byl minimalizován jeho odpor a úplav za kabinou, který u běžně řešených trupů zasahuje ocasní plochy. Podvozek je příďový, pevný, řiditelný. Jako pohonná jednotka slouží motory Rotax 582 UL, 912 UL a 912 ULS s dvou nebo třílistou vrtulí buď pevnou, nebo elektricky stavitelnou za letu. Letadlo má velmi širokou kabinu, 1,2 metru v úrovni ramen a nabízí velký zavazadlový prostor s nosností 32 kg. Do budoucna se počítá s rozšířením o verzi LSA pro Americký trh.

Obrázek 14 - MH-46 Eclipse

Rozpětí:	9,71 m
Délka:	6,34 m
Výška:	2,18 m
Nosná plocha:	11,5 m^2
Prázdná hmotnost:	285 kg
Maximální rychlost:	280 km/h
Cestovní rychlost:	250 km/h
Pádová rychlost: (s klapkami)	64,8 km/h
Výkon motoru:	69 kW
Objem nádrže:	130 l
Dolet:	1200 km
Cena:	1 000 000,-

4 Porovnání letadel

Co se týče výkonů letadel a ekonomiky jejich provozu, má nejvýznamnější vliv tvar křídel, respektive jejich indukovaný odpor. „Trup, gondoly, ocasní plochy a jejich interference znamenají obvykle pouze přídavný odpor.“ [23] (Obrázek 15)



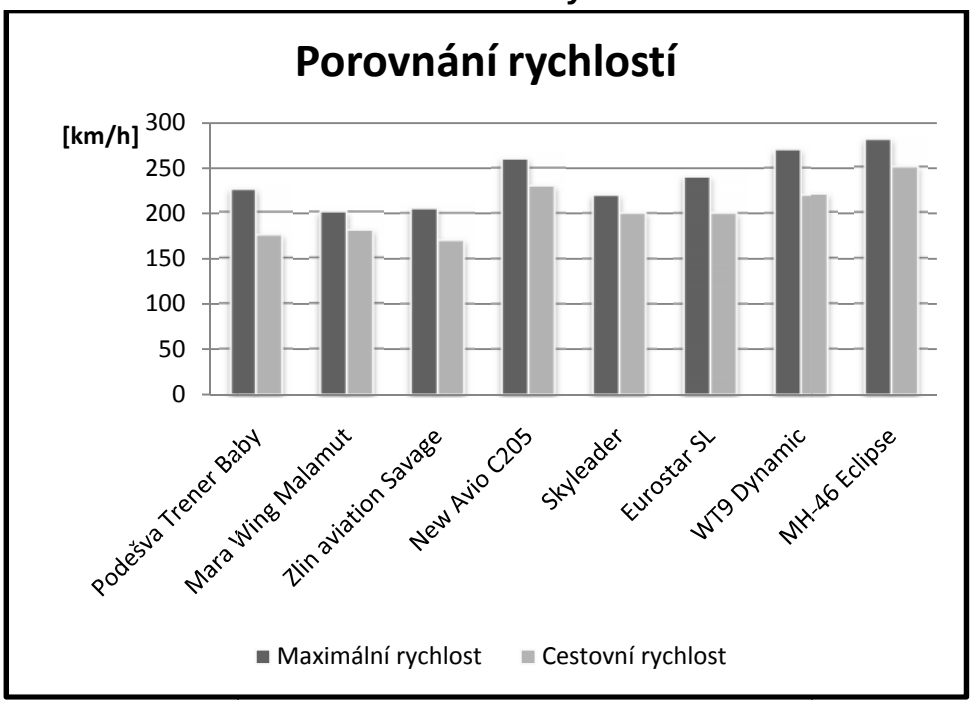
Obrázek 15 - Polára letounu a vliv dalších částí letounu na celkový odpor

Zde můžeme uvažovat vliv plochy průřezu trupu jako méně důležitý, avšak jistě ne zanedbatelný, očekáváme lepší aerodynamické vlastnosti s klesající velikostí plochy, tedy u letadel se sedadly za sebou. Toto uspořádání bude výhodné pro vysoké rychlosti.

Tabulka výkonů jednotlivých letadel:

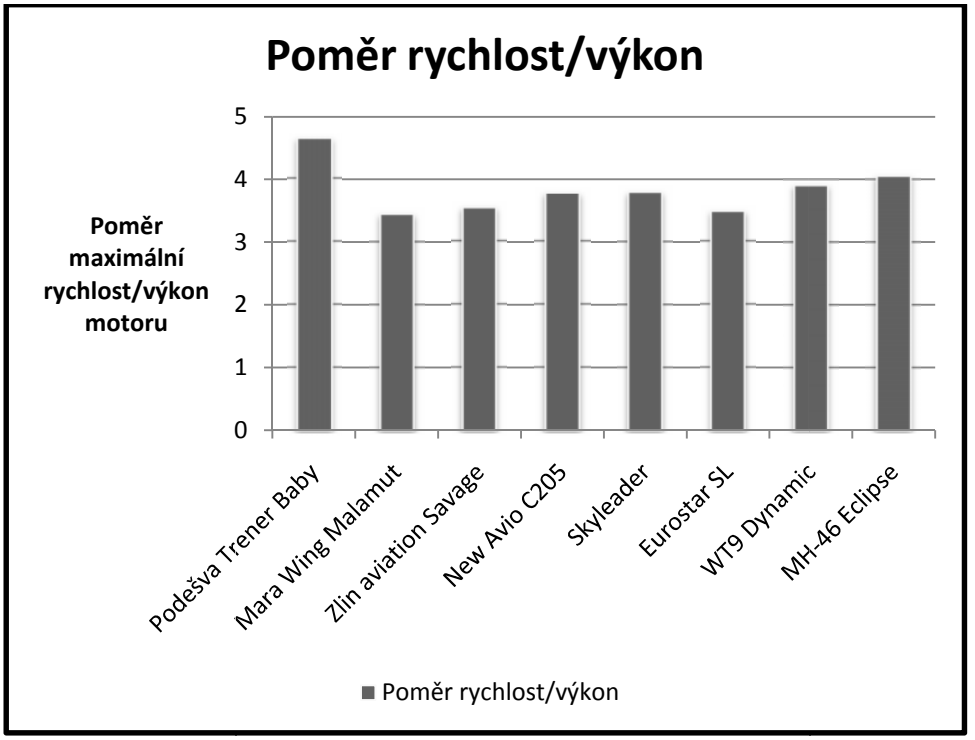
	Podešva Trener Baby	Mara Wing Malamut	Zlin aviation Savage	New Avio C205	Skylea der	Eurostar SL	WT9 Dynamic	MH-46 Eclipse
Rok certifikace:	2003	2003	1997	2007	1997	1996	2005	2008
Prázdná hmotnost [kg]	296	280	288	282	298	276	275	285
Výkon motoru [kW]	48,5	58	58	69	58	69	69	69
Nosná plocha [m^2]	10,8	15,1	14,2	8,22	11,85	10,13	10,3	10,5
Maximální rychlost [km/h]	225	200	205	260	220	240	270	280
Cestovní rychlost [km/h]	175	180	170	230	200	200	220	250
Vytrvalost [h]	4,5	4,4	5	4,8	3,8	3,75	5,5	4,8

Graf porovnání maximálních a cestovních rychlostí letounů:



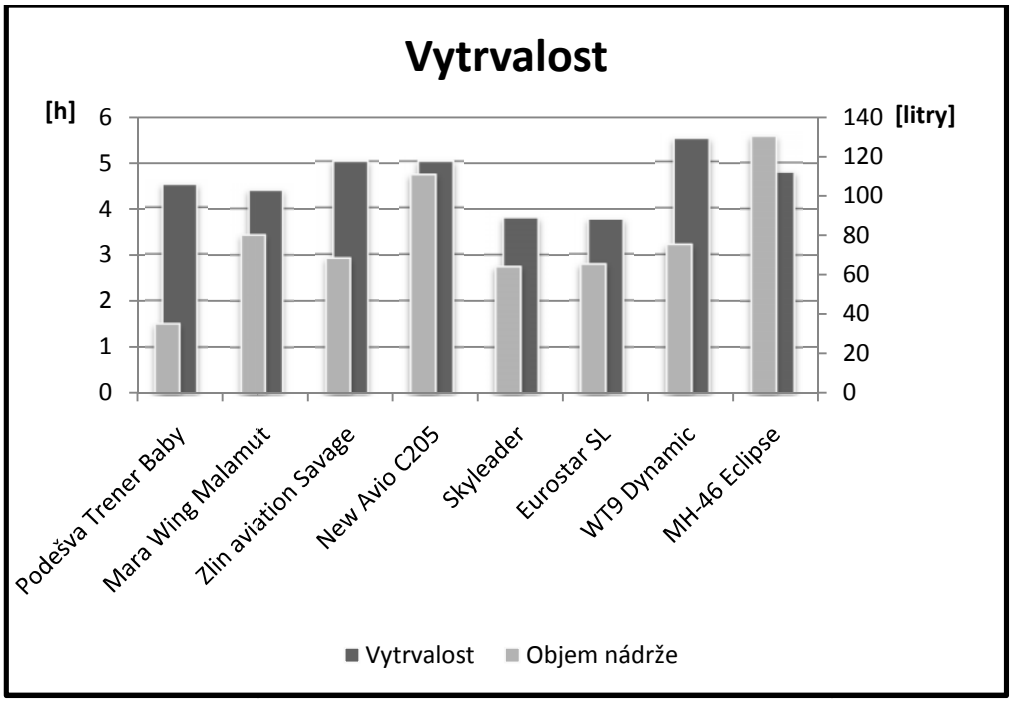
Z grafu je celkem patrná jednoznačná závislost cestovní rychlosti na maximální rychlosti vodorovného letu letadla. Vidíme pouze rozdíl rychlostí jednotlivých letounů, která je ovlivněna aerodynamikou letounu a výkonem motoru. Viz další graf.

Graf poměru maximální rychlosti a výkonu jednotlivých letounů:



Poměrem maximální vodorovné rychlosti letu a výkonem motoru jednotlivých letadel jsme získali graf, kde lze pozorovat aerodynamickou čistotu letounů. Velmi výrazně ostatní letouny předčil Podešva Trener Baby.

Graf vytrvalosti jednotlivých letounů:



Vytrvalost je významně ovlivněna aerodynamikou letounu, použitým motorem, letovým režimem a také kapacitou nádrží, která je u těchto letadel velmi rozdílná a proto je zobrazena v grafu současně s vytrvalostí. Z grafu je patrný významný rozdíl u letounu MH-46 Eclipse, který má objem nádrží téměř dvounásobný, oproti ostatním letounům, avšak vytrvalost v poměru k objemu nádrže významně nevzrostla.

Z ergonomického hlediska lze uspořádání sedadel za sebou považovat za méně výhodné, prostor v kabině bývá šířkou velmi omezen. Šířka omezuje velikost palubní přístrojové desky, a proto není možné obě místa vybavit veškerou moderní avionikou jako je například skleněný kokpit či GPS navigace a deska bývá osazena pouze základními přístroji, často v plné výbavě jen u jednoho ze sedadel. Druhé sedadlo mívá k dispozici pouze řídicí páku a základní přístroje, jak je tomu například u New Avio C205. Dále je u tohoto uspořádání problém s výhledem z druhého, vzadu umístěného, sedadla. Toto místo bývá většinou přímo pod, či nad křídlem a výhled je tedy velmi omezený jak do stran, tak dopředu, přes prvního pilota. Při tomto uspořádání má však první pilot v podstatě neomezený výhled, kdy je posazen výše, oproti uspořádání sedadel vedle sebe a ve výhledu mu nepřekáží křídlo na žádné straně.

U sedadel, umístěných vedle sebe, můžeme nalézt velkou výhodu ve velkém prostoru pro avioniku na přístrojové desce. Rozsáhlý prostor umožňuje umístit velké LCD displeje se skleněným kokpitem, GPS navigací a veškeré nutné informační přístroje a další zařízení pro ovládání letounu. Na druhou stranu, právě pro zmenšení

aerodynamického průřezu, jsou sedadla posazena níže, přímo za motor a výhled přímo dopředu je částečně omezen. Při hornoplošném uspořádání bývá prostor nad hlavami pilotů prosklený a výhled je tedy omezen jen částečně křídly po stranách.

5 Závěr

„Kvalita našich ultralehkých letadel a lehkých sportovních letadel je v zahraničí považována za světovou špičku. Jsou známá nejen v Evropě, ale i v Americe, Austrálii, Japonsku a v poslední době i v Jižní Koreji, Číně, Indii a v jižní Africe.“ [21]

V letech 2002 až 2006 z celkového počtu 2457 ultralehkých a lehkých sportovních letadel vyrobených v ČR šlo na export 92,37%. [21]

Tyto citace a čísla ukazují oblíbenost ultralehkého létání a tradici výroby ultralehkých letadel. ČR byla jedním z majoritních výrobců a vývozců ultralehkých letadel, nicméně, momentálně během celosvětové ekonomické krize je i tento obor také postihnut a dodávky na americký trh poklesly téměř o polovinu. [22]

Dle výše uvedených porovnání, není možné rozhodnout, jaké uspořádání je výhodnější z výkonnostního a ekonomického hlediska. Tyto charakteristiky jsou ovlivňovány tvarem křídel, jejich velikostí, aerodynamickou čistotou a uspořádáním. Další významný vliv na hmotnost a tedy ekonomiku provozu má použitý materiál konstrukce, který je také velmi variabilní.

Z pohledu zákazníka je spíše rozhodující pořizovací cena, provozní náklady, co se týče ekonomičnosti letu a údržby. Další rozhodující faktor bude ergonomie letounu, kde se jeví výhodnější uspořádání sedadel vedle sebe, které přináší velký prostor v kabině pro cestující, větší palubní přístrojovou desku s možností vybavení moderní avionikou.

Poslední významný faktor ovlivňující rozhodování zákazníka může být bezpečnost letounu. Dnes jsou všechny letouny již konstruovány pro případné rozšíření o záchranný padákový systém.

6 Seznam použitých zdrojů

[1] Letecká amatérská asociace ČR, *LA 1 Organizační systém a postupy k zajišťování vymezených činností LAA ČR při správě sportovních létajících zařízení*. Česká Republika :, 30. 6. 2008. 33 s.

[2] Česká Republika. *108/1997 Sb. VYHLÁŠKA Ministerstva dopravy a spojů ze dne 23. dubna 1997* : Sbírka zákonů, Česká republika, 1997. 44 s.

[3] NEGAL, Keith. *Website of the European Microlight Federation* [online]. 2008, last revision 23. 3. 2010 [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <http://www.emf.aero>.

[4] HAWK INFORMATION SERVICES LTD., *EASA study of microlight regulation within Europe* [letter to Dominique Méreuze], 22. 2. 2010, Dostupné z WWW: <http://www.emf.nanco.no/english/Letter_Dominique_Mereuze_EMF_22FEB10.pdf>.

[5] JACKSON, Paul. *Jane's all the world aircraft 2007-2008*. Coulsdon : Jane's Information Group Limited, 2007. 973 s. ISBN 0-7106-2792-0

[6] SLAVĚTÍNSKÝ, Dušan. *O letadlech* [online]. 18. 11. 2010, 25. 4. 2010 [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <http://www.slavetind.cz>.

[7] MERTL, Vlastimil. *Konstrukce a projektování letadel*. první. Brno : PC-DIR Real, s.r.o., 2000. 133 s. ISBN 80-214-1789-7.

[8] *LH Aviation* [online]. 2008, last revision 04 February 2010 [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <http://www.lhaviation.com>.

[9] PODEŠVA, Tomáš. *Výroba a opravy UL letadel* [online]. 2005 [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <http://www.podesva-air.com/index.htm>.

[10] BRZÁK, Jan. *MALAMUT 1-L* [online]. 2003. [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <http://marawing.sweb.cz>.

[11] New Avio. *New Avio – C205* [online]. 2007, 25. 6.2007 [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <http://www.newavio.it/index_flash.html>.

[12] VUT Brno, Fakulta strojního inženýrství. *Letecký ústav : Projekty* [online]. 2004 [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <http://lu.fme.vutbr.cz/projekty.php?projekt=kp2u&full=vv>.

[13] SKYLEADER. *Skyleader aircraft* [online]. 2008, 1. 5. 2010 [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <http://www.skyleader.aero/en>.

[14] EVEKTOR. *Eurostar SL* [online]. 2009, 1. 5.2010 [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <http://www.evektor.cz/eurostar/uvod.asp>.

[15] CHOVAN, Martin. EuroStar SL a SLW: Povedený facelift školního a turistického ULL. *Vztlak* [online]. 27.05.2009 [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <http://vztlak.net/Profily-a-testy/Letouny/EuroStar-SL-a-SLW-Povedeny-facelift-skolniho-a-turistickeho-ULL>.

[16] SAINER, Patrik. WT-9 Dynamic: vlečný letoun bez kompromisů? *Vztlak* [online]. 13.05.2009 [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <http://vztlak.net/Profily-a-testy/Letouny/WT-9-Dynamic-vlecny-letoun-bez-kompromisu>.

[17] LENTLE, Alan. *Aerospool |WT9 Dynamic* [online]. 2006, 2006-12-04 [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <http://www.wt9dynamic.co.za/?q=node/4>.

[18] AEROSPOOL S.R.O. *Aerospool* [online]. 2010, 05 May 2010 [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <http://www.aerospool.sk/index.php?option=com_content&view=article&id=89&Itemid=83&lang=en>.

[19] AEROSETTE S.R.O. *UL Eclipse MH-46* [online]. 2007, [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <http://www.aerosette.eu/index.html>.

[20] MATYÁŠ, Ctirad. Ultralight MH – 46 Eclipse, *Aeroweb* [online]. 12. 11. 2007 [cit. 2010-05-26].]. Dostupné z WWW: <http://www.aeroweb.cz/clanek.asp?ID=896&kategorie=4>.

[21] ČERNOHORSKÝ, Jiří. Naše ultralehká letadla a lehká sportovní letadla. *MM Průmyslové spektrum.* 2007, č.11, strana 84, Kód článku: 071119

[22] ČT24. Čeští výrobci ultralightů zažívají ústup ze slávy. *ČT24* [online]. 2009, aktualizováno 7. 8. 2009 [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <http://www.ct24.cz/ekonomika/svetova-financni-krize/cesi-proti-krizi/63208-cesti-vyrobci-ultralightu-zazivaji-ustup-ze-slavy>.

[23] STRNAD, Petr. Charakteristiky letounu. *RC Modely* [online]. 2002, 4. 4. 2010 [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <http://www.rcmodely.com/index.php?option=com_content&view=article&id=90:charakteristiky-letounu&catid=45:zakladyaerodynamiky&Itemid=59>.

OBRÁZEK 1 – ROZLOŽENÍ SIL PŘI NÁKLONU 2
<http://www.slavetind.cz/stavba/obrazky/Mechanika/Mech001.GIF>

OBRÁZEK 2 – ROZLOŽENÍ OHYBOVÉHO MOMENTU PO KŘÍDLE 3
<http://www.slavetind.cz/stavba/konstrukce/kridlo/obrazky/Zatiz_kr1.gif>

OBRÁZEK 3 – ROZLOŽENÍ VZTLAKU PO OBDÉLNÍKOVÉM KŘÍDLE 4
<http://www.slavetind.cz/stavba/obrazky/Mechanika/Mech012.gif>

OBRÁZEK 4 - ROZLOŽENÍ VZTLAKU PO LICHOBĚŽNÍKOVÉM KŘÍDLE..... 5
<http://www.slavetind.cz/stavba/obrazky/Mechanika/Mech013.gif>

OBRÁZEK 5 - ROZLOŽENÍ VZTLAKU PO ELIPTICKÉM KŘÍDLE 5
< http://www.slavetind.cz/stavba/obrazky/Mechanika/Mech014.gif>

OBRÁZEK 6 - LH-10 ELLIPSE 6
propagační materiály LH-10 Ellipse, dostupné na WWW:
<http://www.lhaviation.com>

OBRÁZEK 7 - PODEŠVA TRENER BABY 7
<http://www.aktabor.cz/foto/041031/ud01vj.jpg>

OBRÁZEK 8 – MARA WING L-1 MALAMUT..... 8
z osobní sbírky autora Ray Barber

OBRÁZEK 9 – ZLIN AVIATION SAVAGE..... 9
http://www.zlinaero.com/images/multimedia/photo/1/25.jpg

OBRÁZEK 10 – NEW AVIO C205..... 10
New Avio C205 brochure, dostupné na WWW:
<http://www.newavio.it/index_flash.html>

OBRÁZEK 11 - SKYLEADER (KP-U2 SOVA)..... 11
<http://www.skyleader.aero/en/images/resize/s200-3upr_750x563.jpg>

OBRÁZEK 12 - EUROSTAR SL 12
<http://www.evektor.cz/images/eurostar/banner3.jpg>

OBRÁZEK 13 - DYNAMIC 13
<http://www.ok-light.cz/data/custom/images/OK%20Light/dynamic%20%C5%A0omin%203(1).jpg>

OBRÁZEK 14 - MH-46 ECLIPSE..... 14
<http://www.aeroweb.cz/Obrazky/Image/Eclipse/ec-1.jpg>

OBRÁZEK 15 - POLÁRA LETOUNU A VLIV DALŠÍCH ČÁSTÍ LETOUNU NA CELKOVÝ ODPOR..... 15
<http://www.rcmodely.com/picture/teorie/25.jpg>

7 Seznam použitých zkratek:

ELA 1 – European light aircraft
EMF – European microlight federation
G – gravitační síla
L – vztlaková síla
LSA – Light sport aircraft
MTOM – maximal take-off mass
M_{Smax} – maximální ohybový moment samonosného křídla
M_{Vmax} – maximální ohybový moment vzepřeného křídla
SLZ – Sportovní létající zařízení
SOP – svislé ocasní plochy
ULL – Ultralehký letoun
VOP – vodorovné ocasní plochy