



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

## PŘEHLED LETADEL POHÁNĚNÝCH LIDSKOU SILOU

HUMAN POWERED AIRPLANES OVERVIEW

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ VALUCH

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL ZIKMUND, Ph.D.

BRNO 2014



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2013/14

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Tomáš Valuch

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 letadel poháněných lidskou silou**

v anglickém jazyce:

#### **Human powered airplanes overview**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V bakalářské práci půjde o vypracování přehledové studie letadel poháněných lidskou silou. Práce bude obsahovat statistiku zadaných parametrů letounů a následné vyhodnocení trendů v oblasti konstrukce a letových výkonů.

Cíle bakalářské práce:

Cíle bakalářské práce:

- 1) Vypracování přehledu lidsky poháněných letadel
- 2) Vyhodnocení trendů v konstrukci draku
- 3) Vyhodnocení trendů zadaných konstrukčních parametrů

Seznam odborné literatury:

<http://www.humanpoweredflying.propdesigner.co.uk/index.html>

<http://www.ihpva.org/hpvarech.htm>

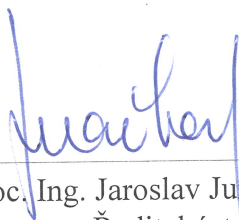
[http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_Human-powered\\_aircraft](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Human-powered_aircraft)

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Zikmund, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne





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



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan

## **ABSTRAKT**

V této bakalářské práci je vypracován historický vývoj letadel poháněných lidskou silou. Cílem práce je vypracovat přehled lidsky poháněných letadel, vyhodnotit trendy v konstrukci draku a také vyhodnotit trendy zadaných konstrukčních parametrů. První část se věnuje historickému vývoji letadel. Další část se zaměřuje na popis Kremerových cen a jejich důležitosti pro rozvoj této kategorie letadel. Dále jsou popsány konstrukční prvky draku a jsou vyhodnoceny konstrukční parametry a letové výkony. Poslední část se věnuje budoucímu vývoji a dosaženým rekordům.

## **SUMMARY**

In this bachelor thesis is elaborated historical development of human-powered aircrafts. The aim is to asses an overview of human-powered aircraft, to evaluate trends in the airframe structure and evaluate trends of specific design parameters. The first part deals with the historical development of the aircrafts. The next part focuses on the description of Kremer's prices and their importance for the development of this aircraft category. The following describes the structural components of the airframe and structural parameters. These parameters and flight performance are assessed. The last section is devoted to future developments and accomplishments records.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

letadlo, lidský pohon, konstrukční trendy, historický vývoj, Kremerova cena, VUT Brno, bakalářská práce

## **KEYWORDS**

aircraft, human power, structural trends, historical development, Kremer's prices, BUT Brno, bachelor thesis

VALUCH, T. *Přehled letadel poháněných lidskou silou*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 55 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Zikmund PhD.



Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „*Přehled letadel poháněných lidskou silou*“ vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce Ing. Pavla Zikmunda PhD., a s použitím literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

V Brně dne 26.5.2014

Tomáš Valuch





Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu Ing. Pavlu Zikmundovi za odborné vedení práce, cenné rady a připomínky při jejím vytváření. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině a přátelům, kteří mě při vytváření této práce a studiu podporovali.

Tomáš Valuch



# OBSAH

1	Úvod.....	10
2	Historie.....	11
2.1	Počátky létání .....	11
2.2	Létající kola.....	13
2.3	První šlapací letadla.....	14
2.3.1	Mufli.....	14
2.3.2	Pedaliante .....	15
3	Kremerova cena .....	17
3.1	První Kremerova cena .....	17
3.1.1	Gossamer Condor.....	18
3.2	Druhá Kremerova cena.....	22
3.2.1	Gossamer Albatross .....	23
3.3	Kremerova rychlostní cena.....	26
3.3.1	Bionic Bat .....	27
3.3.2	Monarch B.....	28
3.3.3	Musculair I.....	29
3.3.4	Musculair II.....	30
4	Nejvýznamnější let.....	31
4.1	Daedalus .....	31
5	konstrukční trendy.....	34
5.1	Materiál .....	34
5.2	Konstrukční prvky draku.....	35
5.2.1	Trup.....	35
5.2.2	Kabina .....	35
5.2.3	Křídlo .....	36
5.2.4	Ovládání .....	38
5.2.5	Pohon .....	38
6	Vyhodnocení konstrukčních parametrů .....	40
6.1	Štíhlost křídla .....	40
6.2	Prázdná hmotnost .....	41
6.3	Vzletová hmotnost.....	42
6.4	Plošné zatížení.....	43
6.5	vzdálenost.....	44
7	Dosažené rekordy.....	45
7.1	Kategorie: Muži.....	45
7.2	Kategorie: Ženy.....	46

8	Budoucí vývoj .....	47
9	Závěr.....	49
10	Zdroje použité literatury .....	50
11	Seznam obrázků.....	53
12	Seznam grafů .....	54
13	Seznam tabulek.....	54
14	Přílohy .....	55

# 1 ÚVOD

Touha člověka létat je stará snad jako lidstvo samo. O snaze lidí vznést se do vzduchu a letět pouze za použití vlastních svalů svědčí mnohé historické prameny mnoha kultur z různých koutů světa. Asi nejznámější z nich pochází ze starověkého Řecka z báje o Daidalovi a Ikarovi, kteří se snažili uniknout z ostrova Kréta s křídly vyrobených z vosku a ptačího peří.

Tato práce pojednává o skutečných létajících strojích na lidský pohon. První část pojednává o historickém vývoji letadel poháněných lidskou silou. Další část je zaměřena na popis Kremerovy ceny a pokusy o její získání. Poté jsou v práci popsány nejvýznamnější letadla, charakterizují se zde použité výrobní materiály a technologické postupy a specifická konstrukční řešení.

Následuje přehled dosažených rekordů v jednotlivých kategoriích. V závěru je vypracován přehled letadel s jejich parametry, vyhodnoceny konstrukční trendy a nastíněn budoucí vývoj těchto letadel.

Rozsah práce umožňuje popsat letadla, která dosáhla klíčových úspěchu v kategorii letadel poháněných lidskou silou, ačkoliv pozornost by si zasloužila všechna z nich, neboť technologie každého z nich byla z konstrukčního pohledu unikátní.

Oblast lidsky poháněných letadel je velmi specifická a vyžaduje netradiční konstrukční postupy a z tohoto hlediska je fascinující, že létání pouze za použití vlastní síly se vůbec uskutečňuje.

## 2 HISTORIE

Kapitola pojednává o počátcích vývoje letectví a prvních letadel poháněných lidskou silou.

### 2.1 POČÁTKY LÉTÁNÍ

Pomineme-li již zmiňované postavy z řecké mytologie, Daidala a Ikara, můžeme vycházet z prvních dochovaných záznamů o letu člověka z Číny v období kolem roku 400 př.n.l.

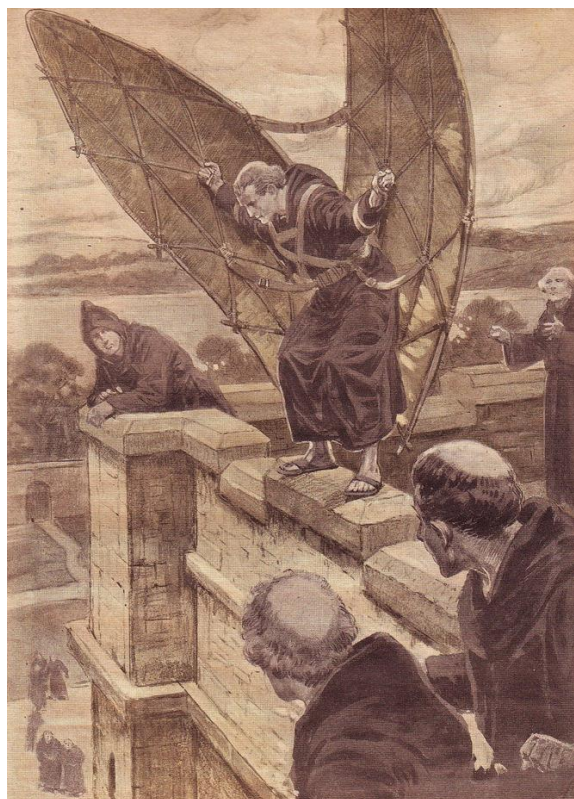
Císař Kao Yang nechal své vězně přivázat k ústrojí, podobnému draku nebo padáku, a poté je v rámci náboženských rituálů nutil skákat ze skály. Vězeň Yuan Huang T'ou při jednom z těchto aktů šťastně přistál a přežil a jeho úspěch se tímto zapsal do dějin jako první zaznamenaný let člověka. Za tento úspěch ho císař paradoxně odsoudil k lehčímu trestu: smrti vyhladověním.

Historické prameny z konce 10. století zase hovoří o vynálezci Abbas Ibn Firnas z Andalusie, který, dle záznamů, vyrobil křídla pokryté peřím a po skoku z určitého vrcholu klouzal vzduchem značnou vzdálenost. Nicméně nejsou k dispozici žádné potvrzené zdroje a o důvěryhodnosti těchto údajů by se dalo polemizovat [1].



*Obrázek 1. Abbas Ibn Fimas [2]*

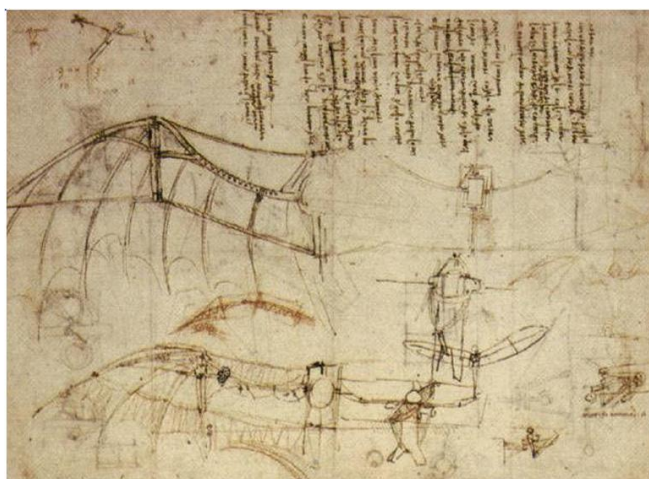
Pak zde máme statečného benediktínského mnicha Eilmera z Malesbury, který se v 11. století s jeho křídly z hrubé látky obětavě vrhl z věže kostela. Pád přežil, ovšem za cenu dvou zlomených nohou. [1]



*Obrázek 2 Mnich Eilmera z Malesbury[3]*

V 80. letech 15. století provedl známý renesanční vynálezce a umělec Leonardo Da Vinci první pokusy o sestavení zařízení, které mělo lidstvu umožnit ovládnutí vzduchu. V jeho denících bylo nalezeno více než sto náčrtů ornitoptér a helikoptér. Ačkoli žádný z jeho návrhů nebyl prokázán jako letuschopný, jedná se o první rozsáhlé studie mechaniky letu inspirované letem ptáků [1].

Da Vinci v roce 1505 zkoumal i let netopýřů, vážek a motýlů a své poznatky popsal v díle Traktát o letu ptáků.



*Obrázek 3 Náčtr letajícího stroje [4]*

Když se přeneseme o 400 let dopředu, dostaneme se k Otto Lilienthalu (1848-1896). Jde o jednoho z nejdůležitějších pionýrů létání. Zabýval se konstrukcí kluzáků, podnikl stovky úspěšných pokusů, z nichž ten poslední se mu stal osudným. Své poznatky a znalosti sepsal do odborné publikace: *Der Vogelflug als Grundlage der Fliegerkunst* (v překladu *Ptačí let, jako umění létat*), která vyšla v roce 1889 [5].



Obrázek 4 Otto Lilienthal v letu [6]

S rozvojem technických disciplín badatelé pokračují ve vývoji strojů létajících pomocí mávání křídel. Nicméně tyto pokusy končí vždy nezdarem. George Cayley se vrací k teorii pevného křídla a o pokusech o sestavení ornitoptéry se tvrdil, že létání máváním křídel je dominantou ptáků a snaha člověka o podobný způsob letu je směšná.

## 2.2 LÉTAJÍCÍ KOLA

Pozornost se přesunula na létající stroje s pevnými křídly, poháněné vrtulí, vznikly tak první pokusy o létající kola.

Dne 21. prosince 1912 firma Michellin vypsala prémii ve výši 2000 franků za překonání vzdálenosti 5 metrů, to se povedlo cyklistickému závodníkovi Leonu Didierovi při letu vzdálenosti v obou směrech o délce 5,05 a 5,32 metrů. Vzhledem ke vzdálenostem se však jednalo spíše o delší skok než o právoplatný let [5].

Větší posun iniciovala další cena s výrazně vyšší premií 10 000 franků, která byla vypsána Robertem Peugeotem, za uletěnou vzdálenost 10 metrů. Zejména kvůli 1. světové válce trvalo celých 9 let, než byla tato vzdálenost pokořena.

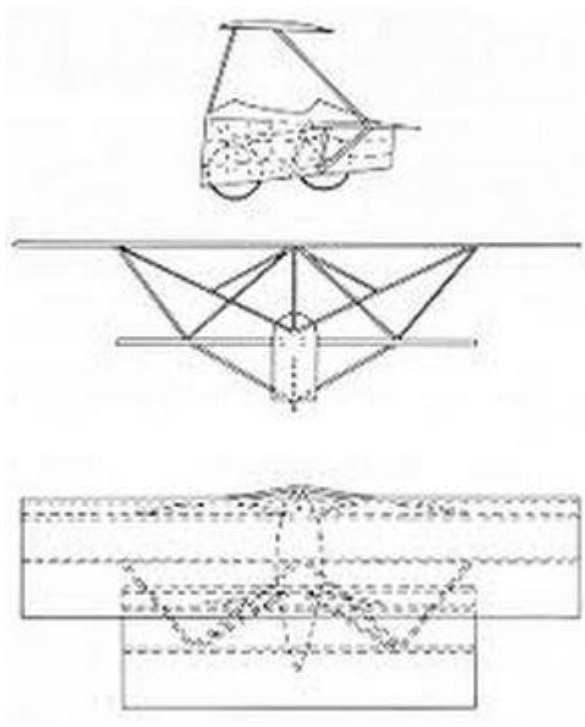
Dne 9. července 1921 ráno cyklistický šampion Gabriel Poulain vzlétl před zraky Roberta Peugeota a mnoha diváků. Dokázal uletět požadovanou vzdálenost celkem 4 krát, z nichž nejdelší let měřil 11,98 metrů. Stroj, na kterém letěl, vyrobila letecká společnost Farman, jednalo se o dvojplošník o rozpětí 6 metrů a křídlové ploše 12,08 m<sup>2</sup>, přimontovaný na jízdní kolo [7]. Celý stroj vážil 91 kg a k tomu, aby se stroj vznesl do



vzduchu, musel Poulain vyvinout rychlost 40 km/h. Létající kolo bylo vyvinuto pouze za účelem dosažení rekordu a získání ceny a o další vývoj již nebyl zájem [1].



Obrázek 6 Ilustrace letícího Poulaina [1]



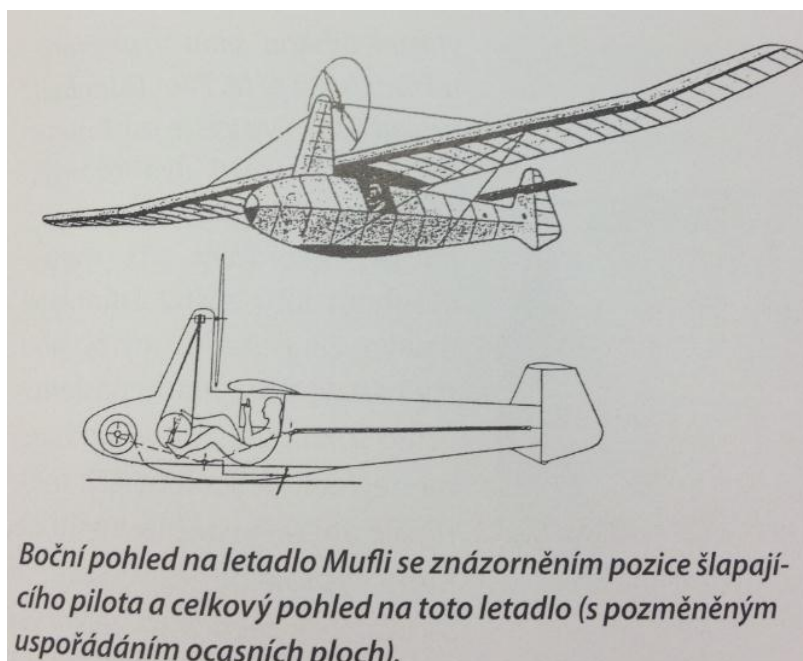
Obrázek 5 Schéma stroje společnosti Farman [8]

## 2.3 PRVNÍ ŠLAPACÍ LETADLA

Následující kapitola pojednává o vybraných typech prvních šlapacích letadel v meziválečném období.

### 2.3.1 MUFLI

Roku 1935 dokončili design svého letadla Muflí němečtí letečtí inženýři Helmut Haessler a Franz Villinger z Dessau. Motivací jim byla peněžitá odměna 5000 marek, kterou vypsál v roce 1934 Institut pro let svalovou silou (Muskelflug-Institut), kde bylo kritériem uletět alespoň 500 m. Haessler a Villinger na kluzák vlastní výroby připevnili pylon s vrtulí, kterou poháněl pilot v kokpitu vlastní silou [7]. Start letounu byl pomocí zkrucovaného gumového lana, v něm se několik minut šlapáním akumulovala energie, která pak katapultovala letadlo do výše několika metrů. Letoun pak pokračoval klouzavým letem, kterému pomáhal pohon vrtule o průměru 1,5 metru. Váha letadla i s gumovým lanem a zkracovacím mechanismem dosahovala pouhých 46 kg [5]. Celkem s letounem podnikli 12 letů, z nichž nejdelší zaznamenaný se uskutečnil dne 4. července roku 1937 a měřil 712 metrů. Konstrukce letadla inspirovala pozdější britské konstruktéry v 50. a 60. letech [7].

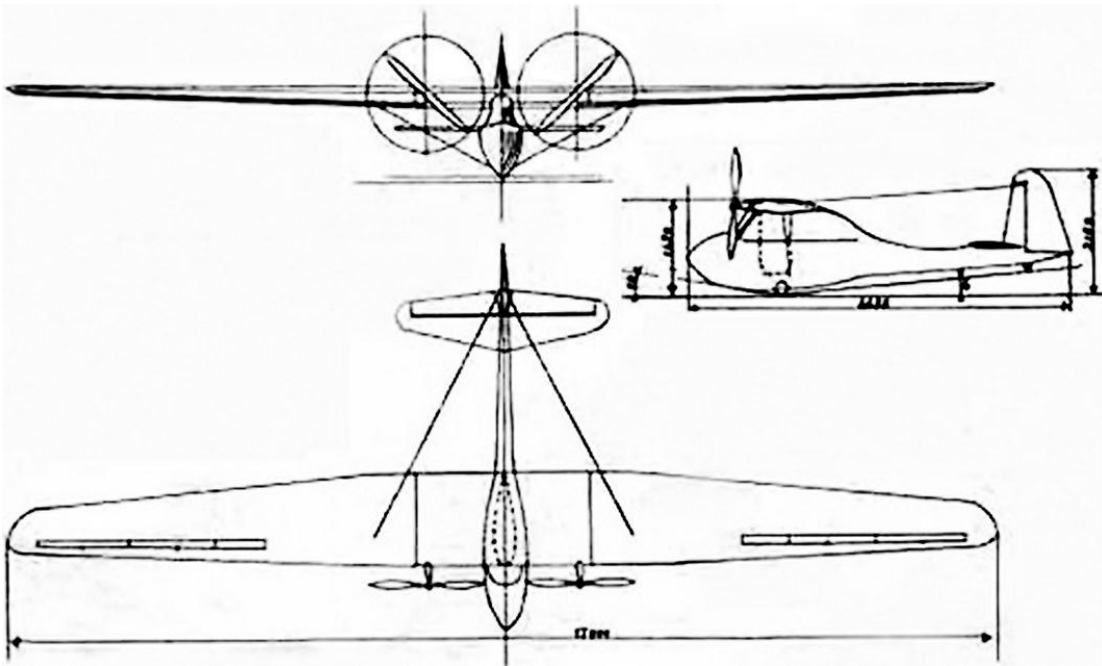


Obrázek 7 Boční pohled na letadlo Muflí [5, s. 21]

### 2.3.2 PEDALIANTE

Dalším úspěšným letadlem poháněným lidskou silou byl italský model sestaven dvojicí E. Bossi a V. Bonomi [5]. Italský letecký inženýr Enea Bossi se zabýval vývojem HPA a pokoušel o sestavení podobného stroje, při jeho prvních pokusech mu vycházelo, že letadlo s jednou vrtulí je značně nestabilní a věřil, že pro sestavení stabilního letadla je zapotřebí dvou protiběžných vrtulí. S touto myšlenkou vytvořil letoun Pedaliante [7].

Konstrukce letadla vycházela z konvenčního větroně o rozpětí 17,7 metrů, nosné ploše 23,2 m<sup>2</sup> a štiřlosti křídla 13,4, kde byly namontovány dvě vrtule, každá na jednom křídle, obsahovala složitý převodový mechanismus s kuželovými ozubenými koly [5]. Celková hmotnost letadla se tak vyšplhala na 100 kg. Vzlet byl realizován opět startovacím lanem, které vymrštilo letadlo do výše 9 metrů. Pilot následně prodlužoval klouzavý let šlapáním. Dne 23. prosince 1936 bylo údajně dosaženo nejdelšího letu, který pokořil vzdálenost 986 metrů. Tyto údaje však nejsou spolehlivě ověřeny. Také proto, že starty byly prováděny pomocí gumového lana s přispěním dalších osob, není prokazatelný záznam o tom, že letadlo skutečně vzlétlo pouze použitím lidské síly [5].



Obrázek 8 Tři pohledový výkres letadla Pedaliente [9]

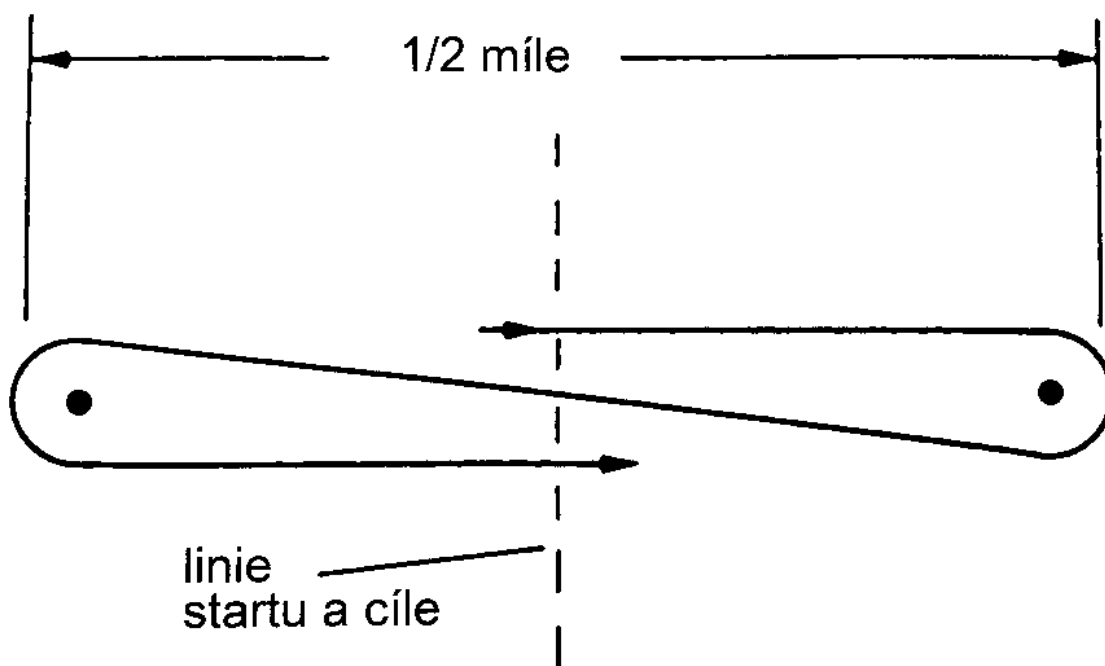
### 3 KREMEROVA CENA

Po poměrně slibných výsledcích prvních lidsky poháněných letadel, se ve válečných 40. a 50. letech vývoj zastavil. Novou vlnu zájmu zapříčinil zejména britský průmyslník Henry Kremer, který vypsal několik disciplín a jejich pokoření mělo motivovat další vývoj jak jinak než finanční odměnou.

#### 3.1 PRVNÍ KREMEROVA CENA

První Kremerova cena byla vypsána v listopadu roku 1959, dotována částkou 5000 liber. Tato částka byla darována Královskou leteckou společností (*Royal Aeronautical Society- RAeS*), která dohlížela na výkony uchazečů a dodržení daných pravidel. V prvních letech byla přístupná výhradně obyvatelům Commonwealthu.

Pravidlo První Kremerovy ceny znělo následovně: Letadlo těžší než vzduch, poháněné lidskou silou musí učinit vzlet bez vnější pomoci a nepřerušovaný let ve tvaru ležaté osmičky mezi pylony vzdálenými od sebe půl míle, po i proti větru. Při obrátce u startovního a cílového pylonu musí setrvat ve výšce nejméně 3 metrů [10].

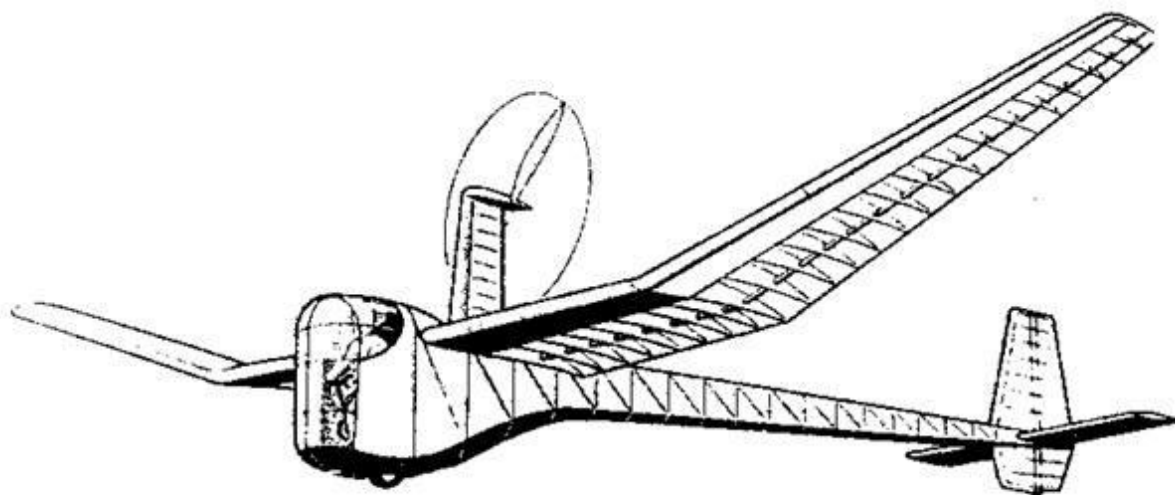


**Znázornění dráhy letu splňujícího podmínky první Kremerovy ceny (tzv. „osmičkový“ let).**

*Obrázek 9 Znázornění dráhy tzv. „Osmičkového“ letu [5]*

Tyto podmínky byly vzhledem ke stupni vývoje tohoto typu letadla tvrdé a během osmi let cenu nikdo nepokořil. V roce 1967 byla odměna zdvojnásobena na 10 000 liber a v roce 1973 dokonce na 50 000 liber a k uskutečnění letu mohlo dojít v kterékoli zemi. To motivovalo nadšence a konstruktéry z celého světa a vznikla spousta obdivuhodných šlapacích letadel v zemích jako třeba Anglie, Francie, Belgie, Německo Rakousko, Švýcarsko a také USA a Japonsko.

Odborníci odhadli, že v polovině sedmdesátých let existovalo, nebo bylo ve fázi výroby kolem sedmdesáti letadel, za zmínku stojí například anglická letadla SUMPAC, Puffin I a II, Mayfly, Jupiter, Dragonfly, Toucan I a II. Dále pak také velmi úspěšné japonské stroje, které vznikaly na Nihon University, nesoucí názvy Linnet I-IV, Egret, Stork A,B a Ibis. V USA to byla letadla Olympian ZB-1, série Bliesner 1-7 a Man-Eagle 1-3. Ojedinele vznikala šlapací letadla ve Francii (Hurel), Belgii (Superia), Rakousku (Malliga) a dokonce v Jižní Africe (Vine). Všichni vynálezci a konstruktéři těchto letadel měli touhu získat Kremerovu cenu a zapsat se tak do dějin. Bohužel ani jednomu z nich se tento milník překonat nepovedlo.



*Japonský Stork dosáhl 2. ledna 1977 délky letu 2094 metrů, což byl v té době světový rekord.*

*Obrázek 10 Letadlo Stork B [5]*

### **3.1.1 GOSSAMER CONDOR**

Od roku 1935, kdy konstruktéři Villiger a Haessler vyrobili letoun Mufli, do 70. let se toho v koncepci letadel poháněných lidskou silou příliš nezměnilo, pořád to byl kluzák a různé varianty šlapacího pohonu [7]. Základní problém, což byl nedostatek výkonu pro ustálený let, se díky modernější technologii a nasbíraným zkušenostem dařilo postupně zmenšovat, když 24. listopadu 1976 japonský letoun Stork B překonal vzdálenost 2100 m. Hlavním omezením všech, do té doby vyrobených letadel, byla špatná ovladatelnost a nemožnost udělat horizontální otáčku o 180°, potřebnou pro splnění podmínek Kremerovy ceny [11].

Z tohoto důvodu se aerodynamik a konstruktér Dr. Paul McCready rozhodl jít jinou cestou. Při návrhu vycházel z několika úvah:

1. Klíčovým problémem je dodržení malé hmotnosti letadla i při jeho velkých rozměrech.
2. K udržení se ve vzduchu musí stačit minimální vynaložená energie, přičemž letadlo musí zvládnout i speciální režimy letu, jakými jsou vzlet, stoupaní a zejména zatačení.
3. Nevýhodami spojenými s velkými rozměry letadla budou malá letová rychlost, která způsobí potíže s řízením a také velká závislost na optimálních povětrnostních podmínkách.
4. K zajištění potřebné pevnosti a tuhosti rozměrného letadla o minimální hmotnosti, zvláště jeho křídla o velkém rozpětí, bude zapotřebí systém výztužných drátků a lanek.

Po vyhodnocení těchto úvah a prvotních výpočtů přišel s návrhem letadla kachního typu s velkou plochou křídla a vodorovnou stabilizační plochou předsunutou vpředu před křídlo [5].

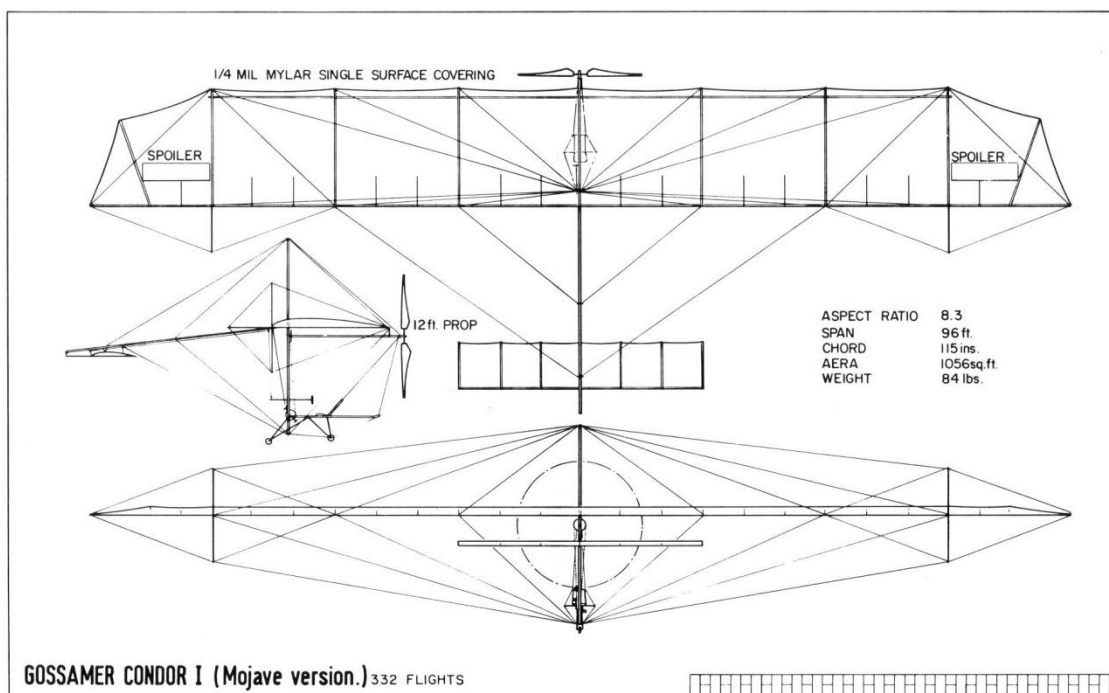
Vznikly tak tři verze letadla Gossamer Condor, které byly modifikovány a zlepšovány během vývoje.

### **První verze Pasadena**

McCready se rozhodl načrtnout, co možná nejjednodušší stroj, jen aby dokázal, že navržený princip funguje. Podle toho postavil Jack Lambie první letoun z duralových trubek, balzového dřeva a výstužných drátů, jejichž spleť systém připomínal pavoučí síť. Uskutečněn byl jen jeden let v Pasadeně na parkovišti Rose Bowl [7].

### **Druhá verze Mojave**

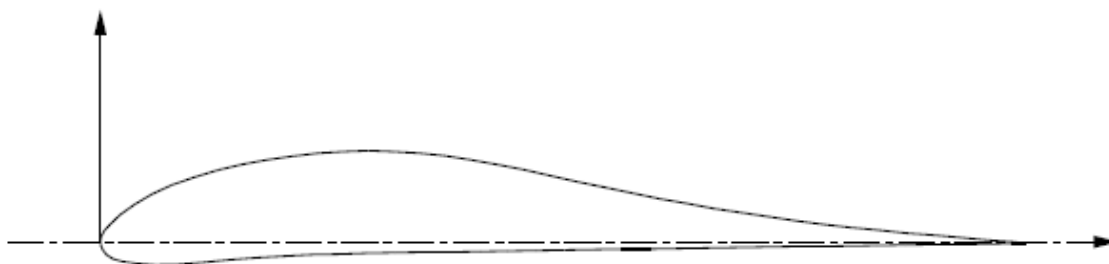
Při zachování koncepce, ovšem s vylepšením některých konstrukčních prvků pokračoval vývoj a testování na jihokaliifornské poušti Mojave. Křídla byla potažena tenkou, velmi lehkou folií Mylar, vyvinutou pro kosmický průmysl, přilepenou a vypnutou za tepla [7]. Konstruktérův patnáctiletý syn Tyler McCready poprvé vzlétl 26. prosince 1976, ve vzduchu se mu podařilo setrvat 40 sekund, tímto výkonem překonal i řadu předchozích HPA.



Obrázek 11 Výkres letadla Gossamer Condor I. [12]

### Poslední verze Shafter

Další lety vylepšené verze Gossameru Condor se přesunuly na letiště Shafter z důvodu lepších povětrnostních podmínek a kvůli tomu, že nová verze měla větší rozpětí, které se nevešlo do hangáru v Mojave [13]. Tým se již skládal z několika dalších členů v čele s konstruktérem Dr. Paulem McCreadym, Dr. Chesterem Kylem, který přispěl svými zkušenostmi se silničními vozidly poháněnými lidskou silou a aerodynamikem Dr. Peterem Lissamanem. Model byl neustále zkoušen a strávil ve vzduchu více času, než ostatní HPA letadla dohromady. Téměř při každém pokusu bylo letadlo nějakým způsobem modifikováno z důvodu zkoušení různých možností kontroly zatáčení a stability [7]. Další zdokonalení představoval profil křídla Lissaman 7669, který splňoval následující požadavky: součinitel vzlaku křídla  $CL=1$ ,  $CL_{max}=1,5$ , součinitel klopivého momentu  $C_m < -0.04$  a co nejmenší součinitel odporu  $C_d$  [13]. Po několika drobných nehodách a opravách bylo letadlo celé přestavěno do finální verze.[7]



Obrázek 12 Profil Lissaman 7669 [13]

Po dlouhých 18 letech od vypsání První Kremerovy ceny, dvojnásobným navýšením odměny a řadě neúspěšných pokusů týmů z celého světa, cenu nakonec získalo letadlo Gossamer Condor, vyrobené americkým leteckým konstruktérem Paulem McCreadym. Dne 23. srpna 1977 pilot Bryan Allen s tímto letadlem dokázal splnit přísné podmínky a povedlo se mu Kremerovu cenu pokořit [5].



*Obrázek 13 Letadlo Gossamer Condor [7]*

Ačkoli se zdá, že finální verze vznikla metodou pokus omyl, byla provedena spousta experimentů s modely menšího měřítka (rozpětí 1 m nebo 2,5 m), testování pomocí proudění ve vodě a počítačových výpočtů a simulací. Vzhledem k důležitosti ovládnutí zatáčení byl velký důraz na aerodynamiku velmi nízkých rychlostí, která byla specifická a dosud málo probádaná.

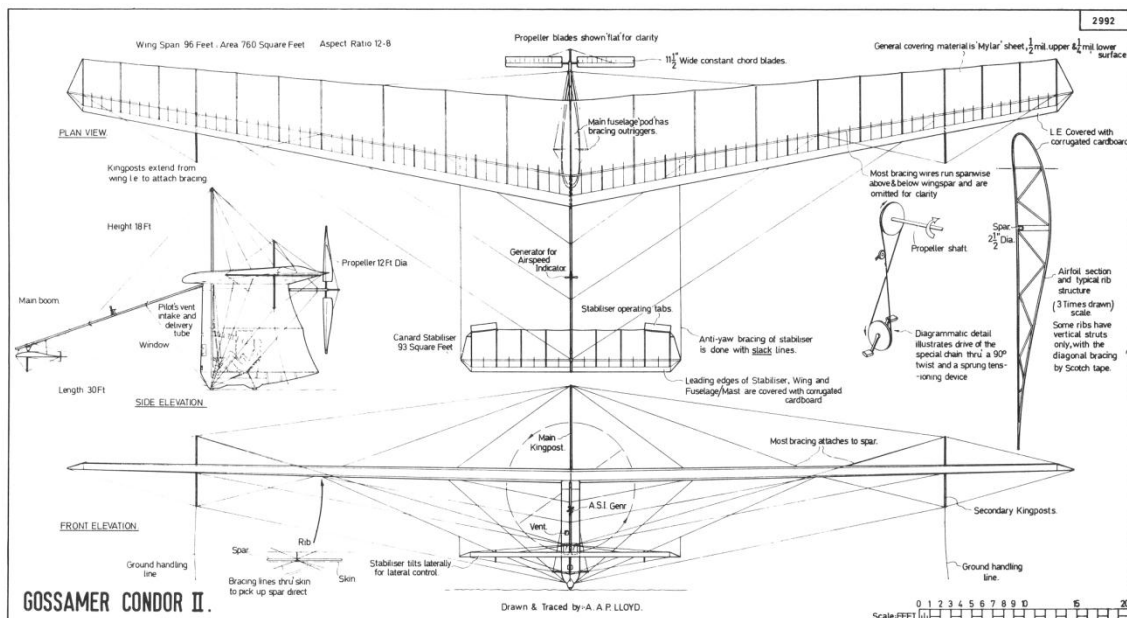
Prvotní koncept nebral příliš zřetel na stabilitu a soustředil se zejména na ovladatelnost letounu, protože při nízké rychlosti letu (méně než 5 m/s), při dostatečné ovladatelnosti pilot mohl jednoduše zareagovat a zajistit tak potřebnou stabilitu nebo přistát. Základem bylo, aby pro kontrolu letadla byla potřeba co nejméně síly a zůstalo tak dostatek výkonu hlavně na pohon vrtule [13].

Byly vyzkoušeny různé možnosti kontroly letounu, jako třeba křídélka na konci křídel, fixní nebo pohyblivé vertikální stabilizátory na přední nebo zadní části letadla a různé druhy spoilerů na křídlech. Nicméně zkoušením se dokázalo, že jsou všechny tyto zařízení neefektivní a zvyšují odpor a hmotnost. Experimentovalo se také s různým rozložením těžiště, především s umístěním vodorovného stabilizátoru [13].



Pro docílení horizontální kontroly bylo potřeba se vyrovnat s hlavní obtíží, která byla v tom, že poloměr zatáčky je v porovnání s rozpětím malý, takže se vnější konec křídla pohybuje rychleji než vnitřní konec křídla. To vede k tomu, že je po rozpětí velký rozdíl vztlaku (až 40 %), který způsobuje klonivý moment ke středu otáčení a je velmi těžké se s tím vyrovnat konvenčními křídélky nebo spoilery. Toto bylo vyřešeno kroucením křídla proti směru zatáčení a tím bylo možné obnovit rovnoměrné rozložení tlaku po rozpětí se současným snížením odporu a docílení příznivého zatáčivého momentu. Natáčení směrovek na předním vodorovném stabilizátoru poskytovalo potřebný moment zatáčení pro koordinaci a stabilizaci zatáčky [14].

I přesto, že během zatáčky o poloměru 75 m bylo zapotřebí asi o 20 % více výkonu, bylo toto řešení vyhovující a zajistilo letadlu Gossamer Condor úspěch.



Obrázek 14 Výkres letadla Gossamer Condor II. [14]

### 3.2 DRUHÁ KREMEROVA CENA

Henry Kremer, potěšen překonáním první ceny, ještě téhož roku vypsali další, v pořadí druhou, Kremerovu cenu za přelet kanálu La Manche. Při dodržení přísných kritérií a překonání vzdálenosti 35 km nad průlivem mezi Anglií a Francií byla odměna ve výši 100 000 liber [5]. Mnoho odborníků z britské Královské aeronautické společnosti RAEs předpokládalo, že první pokusy o přelet by se mohly uskutečnit v rozmezí 5 až 10 let a někteří to považovali přímo za nemožné. Není se čemu divit, když překonání První Kremerovy ceny trvalo dlouhých 18 let a do té doby existující letadla uletěla vzdálenost maximálně 3 km. Proto byla také vypsána cena nejvyšší v celé letecké historii [5].

### 3.2.1 GOSSAMER ALBATROSS

Pokořit Druhou Kremerovu cenu nepovažoval za nemožné Paul McCready. Naplněn optimismem ze získání První Kremerovy ceny přijal tuto výzvu a pracoval na tom, aby pokořil také výzvu následující.

Projekt začal v říjnu roku 1977 jako další vývoj úspěšného letadla Condor [7]. Protože měl letoun sloužit k přeletu nad mořskou hladinou, byl pojmenován Gossamer Albatross. Základní problém přeměny Condora na Albatross spočíval v jeho uzpůsobení pro dálkový let. Bylo potřeba snížit výkon potřebný pro udržení dlouhodobého letu na maximálně 0,18kW, k tomu bylo nutné minimalizovat hmotnost [5]. Zároveň se musela zvýšit tuhost letadla pro let nad mořem, kde je zvýšený výskyt vzdušných vírů a turbulencí. Velká pozornost byla také věnována obrysové přesnosti profilu a dosažení větší štíhlosti křídla [15].

K tomu musely být využity zcela nové druhy materiálů. Paul McCready si byl vědom potřeby zvládnout také organizační a finanční záležitosti pro uskutečnění projektu Albatross. Snažil se proto najít sponzory a na nabídku mu kývla chemická společnost DuPont, která dodala pokrokové materiály jako Kevlar a konstrukční plasty [7]. V celé konstrukci se místo balsy použily kompozity z uhlíkových vláken a pěnové polystyreny [15].

Další změnou byla kabina pilota. Na rozdíl od Condora, v němž pilot šlapal v hlubokém záklonu, v Albatrossu zaujímal vzpřímenou pozici jako na závodním kole. Kabina sloužila jako aerodynamický kryt pro pilota a svým protáhlým tvarem a velkou boční plochou také jako směrová stabilizující kýlová plocha. Uvnitř bylo přístrojové vybavení a další příslušenství [5]. První zkušební lety začaly v létě roku 1978 na letišti Shafter a přinesly pozitivní výsledky, ovšem další lety po přesunu na Long Beach ukázaly potíže s nespolehlivým řízením u moře a vedly k haváriím. Následovaly opravy a další vylepšování [16]. Testování probíhalo u Harpen Lake a podařilo se vydržet ve vzduchu až 15 minut, ovšem Bryan Allen a náhradní pilot Kirk Giboney přistávali vždy velmi vyčerpaní [15]. Ačkoli to bylo více než kdykoli předtím, na překonání kanálu La Manche by to nestačilo.

S řešením přišel profesor Larrabee z univerzity MIT, který pomocí počítačových návrhů přišel s novou vrtulí s profilem Eppler 193 [15]. Teoretická účinnost vrtule byla 88 % a výkon se znatelně zvýšil [5]. Dne 25. dubna 1979 Bryan Allen podnikl let trvající 69 minut a uletěl 20,9 km. Přistál nevyčerpaný a jen proto, aby přenechal letadlo svému kolegovi Kirku Giboneyovi. Tři dny na to už celý tým i se dvěma záložními letadly přepravoval letoun Hercules jednotek RAF do Anglie [15]. Následovalo několikátýdenní čekání na příznivé meteorologické podmínky, na nichž závisel úspěch pokusu.

Dne 11. Června 1979 bylo rozhodnuto, že se pokus uskuteční následující den. Přípravy nastaly již ve 2 hodiny ráno, kdy všichni členové týmu kontrolovali, zda je vše v pořádku [15]. V 5 hodin 51 minut Bryan Allen se strojem Gossamer Albatross lehce vzletl a vydal se vstříc francouzskému pobřeží. Spolu s ním se vydala na cestu flotila doprovodných

člunů, v nichž byli záchranáři, rozhodčí, novináři s kameramany a samozřejmě Paul McCready s několika členy svého týmu [5].



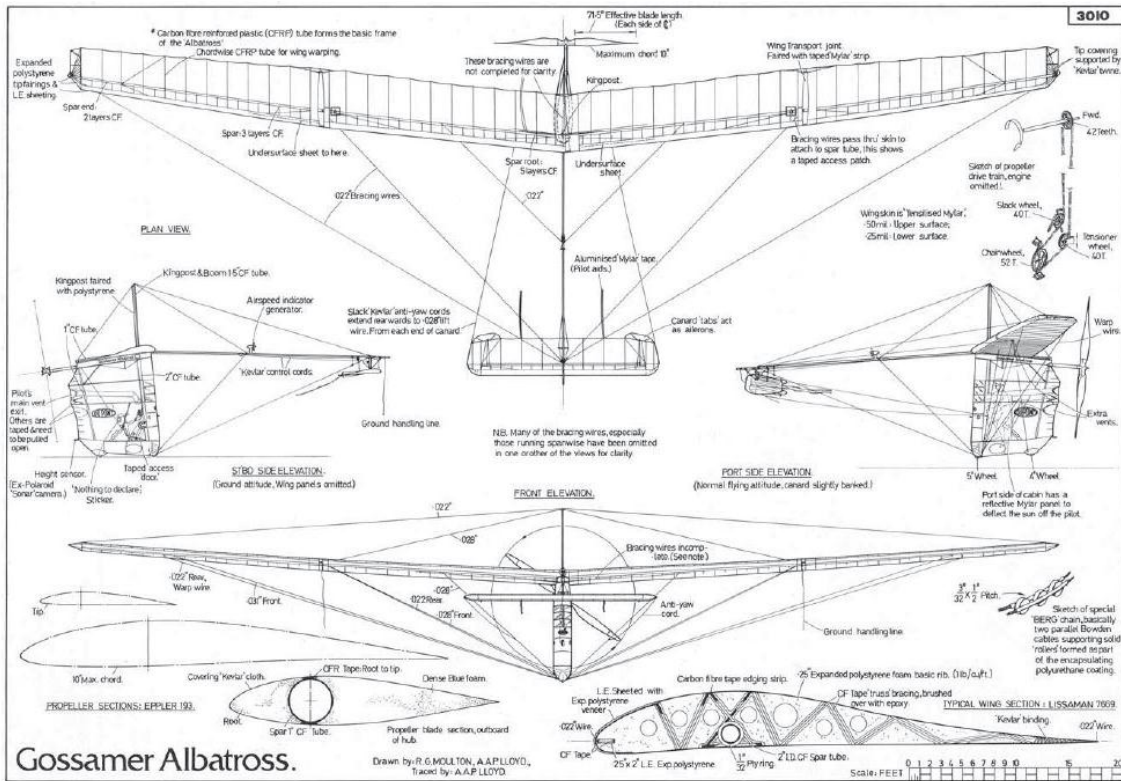
*Obrázek 15 Letadlo Albatross během letu [17]*

Začátek probíhal hladce za dobrých podmínek, slabém vánku a klidné hladině, ovšem během letu se objevilo několik neočekávaných problémů [16]. První ze všeho přestalo fungovat komunikační zařízení mezi pilotem a realizačním týmem, Bryan Allen tak mohl jen přijímat, ale ne odpovídat. Naštěstí záchrané lodě mohly být dostatečně blízko, aby viděly Bryanovo znamení, že slyšel jejich instrukce [15]. Zhruba v polovině letu se zvedl protivítr a dosud klidné moře se rozvlnilo a vyvolávalo turbulence vzduchu, které nepříznivě ovlivňovaly nízko letící Albatross [5]. Bryan Allen už byl velmi vyčerpaný a s realizačním týmem se rozhodli pro zrušení mise. Z posledních sil vystoupal zhruba do 3 metrů, do výšky potřebné, aby pod něj vplula záchraná loď a zahákla ho. Tam zjistil, že je ovzduší klidnější a šlape se mu o poznání snáz. Dal tedy znamení, že bude v letu pokračovat [16]. Po dvou hodinách letu již nefungovaly žádné přístroje, protože se vybily baterie a došla také zásoba vody. Vysílený a dehydratovaný Allen dostával křeče do nohou, ale velkou motivací pro něj bylo blížící se francouzské pobřeží, kousek před cílem už se nemohl vzdát.

Po letu trvajícím 2 hodiny a 49 minut Albatross přistál na pláži Cap Griz-Nez za obrovského nadšení přihlížejících fanoušků [5]. McCready a Allen to opět dokázali a zapsali se tak do historie letectví.



Obrázek 15 Letadlo Albatross po přistání na francouzském pobřeží [18]



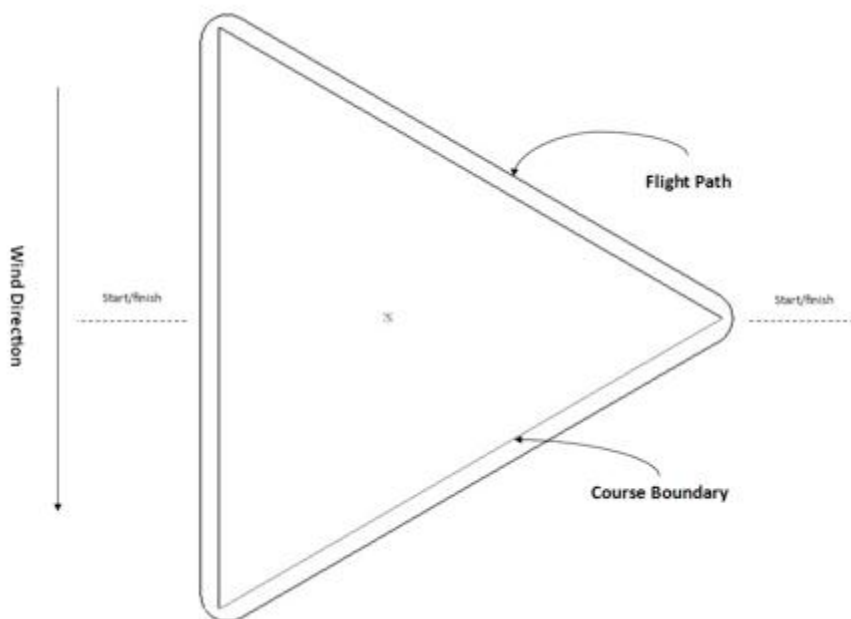
Obrázek 16 Výkres letadla Gossamer Albatross [19]

### 3.3 KREMEROVA RYCHLOSTNÍ CENA

Projekty Gossamer zavedly novou éru konstrukce letadel poháněných lidskou silou [1]. Počítačové výpočty a simulace, precizní aerodynamika a využití nejmodernějších materiálů se staly nezbytnými pro další vývoj. Šlapací letadla již byla ovladatelná, dokázala uletět velké vzdálenosti, ovšem létala velmi pomalu. Tím, že byla velmi rozměrná a křehká a také velmi náchylná už i na mírný vítr, stávala se poněkud nepraktickými.

Dalším krokem v jejich vývoji mohlo být zmenšení rozměrů, zvýšení rychlosti a rovněž zmenšení závislosti na povětrnostní podmínky[5]. Vypsání nové Kremerovy ceny tak bylo nasnadě.

Pravidla byla poměrně jednoduchá. Podmínkou byl průlet trojúhelníkové trati o obvodu 1500 metrů za dobu menší než 3 minuty. První pokořitel získá cenu 20 000 liber a každý další, kdo překoná předešlého výherce o více jak 5 %, dostane odměnu 5 000 liber do vyčerpání celkové dotace 100 000 liber [10]. Novým prvkem bylo také povolení akumulované energie před startem letadla využitím energie pilota. Doba akumulace byla omezena na maximálně 10 minut před startem, opět s ohledem na praktičnost [7].



Obrázek 17 Schéma dráhy [20]

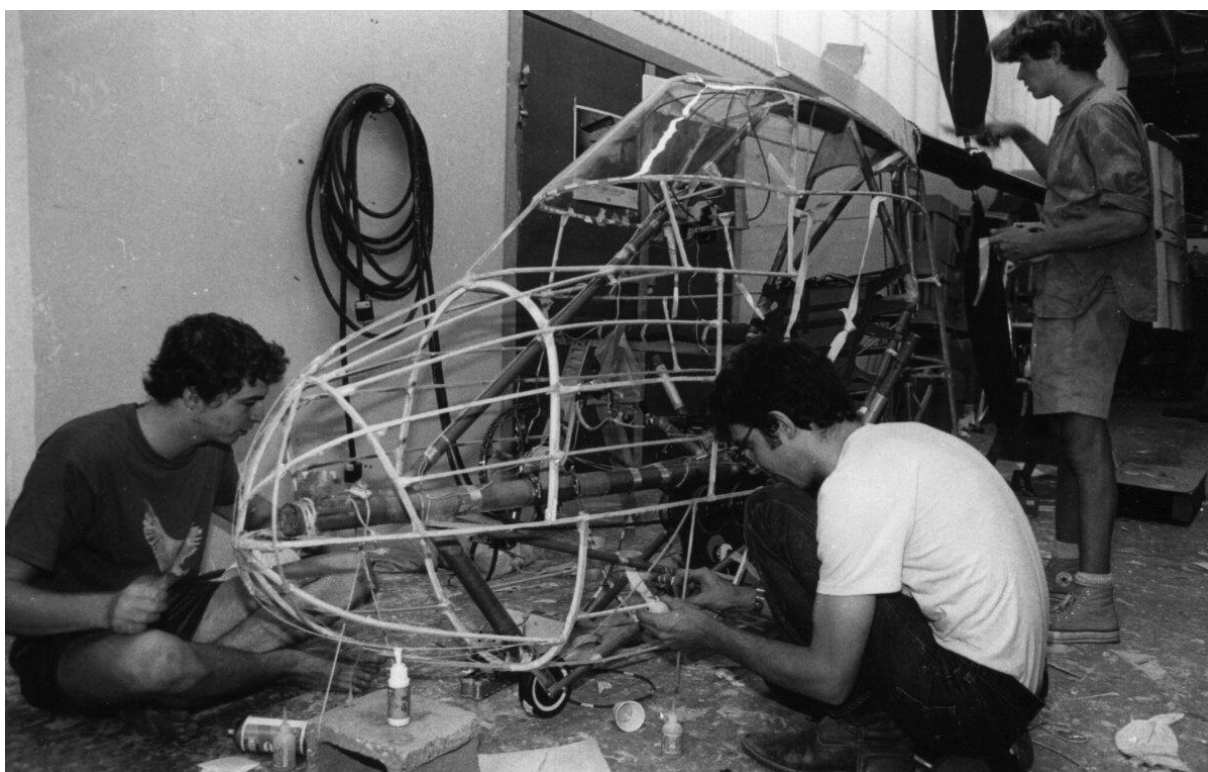
Reakce po vyhlášení soutěže byla velmi rychlá. Konstrukteři z různých koutů světa projevili zájem ucházet se o cenu. Nejžhavějšími kandidáty na získání odměny byli tři konstrukční týmy.

První byl opět tým Paula McCreadyho se svým letadlem Bionic Bat. Další byl tým studentů z Massachusetts Institute of Technology pod vedením Johna Langforda a Marka Drely s letadlem Monarch [7]. Posledním týmem byla skupina kolem leteckého návrháře Guntera Rochelta se strojem Musculair [5]. Pro soupeřící skupiny to byl závod o čas, protože největší odměna čekala právě na prvního vítěze.

### 3.3.1 BIONIC BAT

První pokus o získání ceny náležel McCreadymu. Jeho letadlo Bionic Bat bylo hornoplošník o rozpětí 17 metrů a ploše křídla téměř 14 metrů čtverečních. Pilot šlapal v kabině vleže a tlačná vrtule byla umístěna za kabinou pro snížení odporu [7]. Přídavný výkon obstarávaly 2 kobaltové elektrické motory Astro Challenger 40, poháněné 24 články Nikl-Kadmiové baterie [21].

Dne 25. září 1983 proletěl pilot Parker McCready trojúhelníkovou trať o délce 1500 metrů za 2 minuty a 39 sekund. Nicméně tento pokus byl dozorcí komisí anulován. Diskvalifikace byla kvůli nedodržení úplného vybití baterií před začátkem nabíjení svalovou silou pilota [21].



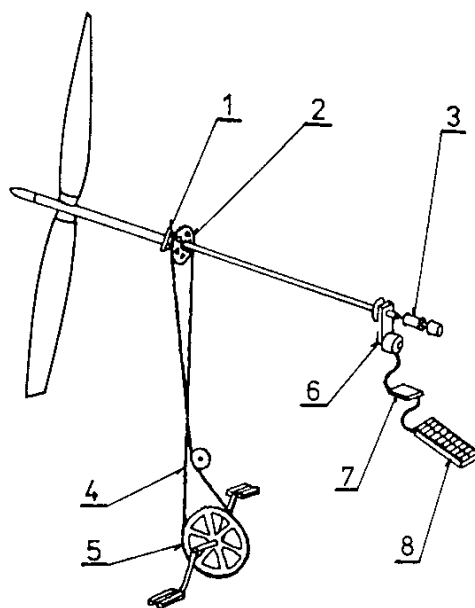
*Obrázek 18 Konstrukce kabiny Bionic Bat [22]*

### 3.3.2 MONARCH B

Po neuznání rekordu McCreadyho vycítil šanci získat první cenu tým z MIT s letounem Monarch B. Při návrhu těžili z bohatých zkušeností při stavbě letadla Chrysalis. Koncepce byla podobná jako Bionic Bat, jen s přední tažnou vrtulí.

Kvůli nedostatku času a financí byla konstrukce převážně z duralu a použití kompozitů bylo ve velmi malé míře. Již po 88 dnech byl letoun připraven k letu [23]. Po prvních zkušebních letech se ukázalo několik problémů. Špatná účinnost vrtule, neefektivní převod, přeskokování pohonného řetězu a přepadávání na nos. To vyžadovalo významné změny v konstrukci. Řízení zkrucováním křídel bylo nahrazeno efektivnějšími křídélky z polypropylenové pěny a letadlo bylo opatřeno vrtulí s elektronicky nastavitelným úhlem náběhu, pro větší účinnost v různých režimech letu. Pro přídatný pohon byl použit elektrický motor Geist 60/28 o výkonu 700 W napájeným dvaceti NiCd články [23].

Hlavními přednostmi Monarchu B byly prvotní sofistikovaná analýza potřebných rozměrů, jednoduchá konstrukce a důmyslná elektronika [7].



*Pohonná jednotka letadla MIT Monarch B:  
1 – spojka vrtule, 2 – řetězový pastorek s 28 zuby,  
3 – servoregulace množství odebíraného proudu  
v závislosti na změně stoupání listů vrtule, 4 – ře-  
těž z ocelových lanek s polyuretanovými válečky,  
5 – převodník se 74 zuby, včetně klik s pedály, 6  
– elektromotor o výkonu 700 W a nad ním redu-  
ktor otáček, 7 – regulátor odběru, 8 – baterie NiCd  
(24 V) s 20 články po 1,2 Ah*

*Obrázek 19 Popis pohonné jednotky letadla MIT Monarch B [5]*

Své kvality prokázal 11. května 1984, kdy s ním pilot Frank Scarabino dokázal pokořit hranici tří minut časem 2 minuty a 58,7 sekund a vyhrál tak první Kremerovu rychlostní cenu.

### 3.3.3 MUSCULAIR I

Inspirován významnými úspěchy Paula McCreadyho a Johna Langforda se rozhodl německý letecký konstruktér Gunter Rochelt započít stavbu vlastního letadla poháněného lidskou silou. Motivací mu byla také první Kremerova cena pro neamerické občany a druhá rychlostní Kremerova cena [24]. Po zkušenostech s konstrukcí letadla na solární pohon bylo o základním konceptu rozhodnuto velmi rychle [25]. Jednalo se o konvenční hornoplošník s laminárním profilem, profilovanou závěsnou kabinou a tlačnou vrtulí umístěnou za ocasními plochami. Výroba byla z nejlhčích dostupných materiálů, s velkým důrazem na aerodynamickou přesnost a úpravu povrchu pro dosažení co nejvyšší rychlosti při minimálním požadovaném výkonu [24]. Pro profil křídla byl zvolen Wortmann FX 76 MP, testován prof. Dieterem Althausem v aerodynamickém tunelu na univerzitě ve Stuttgartu, který byl dále optimalizován pro co nejnižší odpor.

Při konstrukci byly použity uhlíkové kompozity, pěnové kompozity Rohacell, Styrodur, Conticell a jako potahový materiál folie Mylar [5].

Musculair I měl sloužit jako víceúčelové letadlo pro splnění požadavků obou vypsáných soutěží. Byl proto navržen s ohledem na vysokou rychlost a výbornou ovladatelnost,

ovšem bez použití přídavného pohonu. Tento účel splnil, když pilot Holger Rochelt vyhrál dne 18. června 1984 První Kremerovu cenu, tedy let tzv. „osmičky“ v čase 4 minuty a 5 sekund

a dva měsíce na to 21. srpna 1984 překonal McCreadyho rekord čase 2 minuty a 31,4 sekund o 7 % a získal tak odměnu za Kremerovu rychlostní cenu.

Při ukončení letecké sezony na podzim roku 1984 vzal Holger Rochelt do letadla také svoji sestru Katrin, která vážila stejně jako celé letadlo, 28 kg. Byl tak uskutečněn první let s pasažérem v kategorii letadel poháněných lidskou silou [24].



Obrázek 20 Musculair I s pasažérem [26]



### 3.3.4 MUSCULAIR II

Po havárii byl sestrojen nový letoun Musculair II, který byl navržen čistě na rychlost. Byla změněna pozice pilota v kabině, která mohla být menších rozměrů, výkon byl zvýšen o 5 procent použitím eliptického ozubeného kola a při velmi šetrném použití materiálů byla snížena hmotnost na 24 kg. S touto konfigurací získal dne 2. října 1985 poslední rychlostní cenu s časem 2 minuty a 2 sekundy při průměrné rychlosti 44,26 km/h [24].



*Obrázek 21 Musculair II v letu [7]*

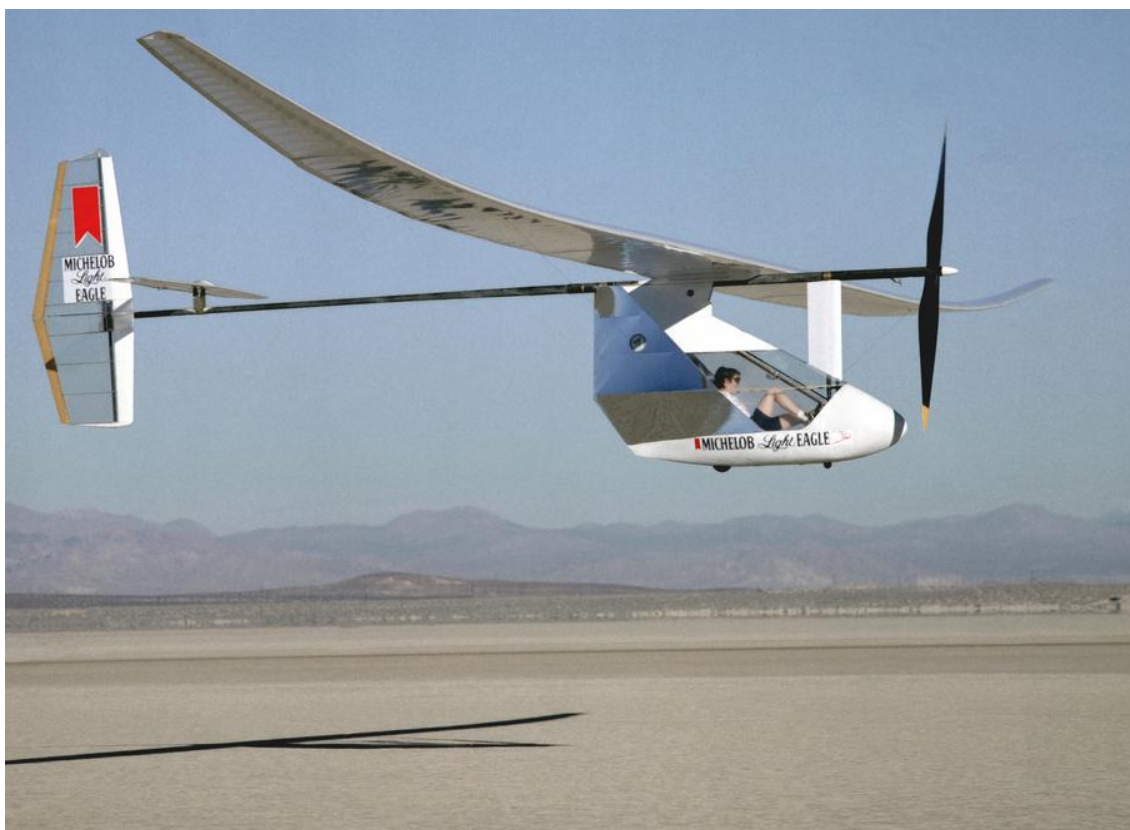
## 4 NEJVÝZNAMNĚJŠÍ LET

### 4.1 DAEDALUS

Doposud největšího milníku v oblasti letadel poháněných lidskou silou bylo dosaženo letadlem Daedalus. Je držitelem rekordů v nejdelší vzdálenosti a nejdelší výdrží letu. Tento projekt, který započal jako znovuzrození mýtu o Daidalovi a Ikarovi, byl nejdražší a nejnáročnější v historii šlapacích letadel a spolupracovalo na něm několik institucí, zejména MIT, NASA, firem Anheuser Busch, United Technologies a dalších sponzorů [27].

Tým byl složen z největších odborníků na letadla poháněná lidskou silou té doby, na vývoji se podílel přední aerodynamik Mark Drela, John Langford a pomocnou ruku přidal také Paul McCready [28].

Konstrukce vycházela z úspěšného letadla Michelob Light Eagle, které drželo vzdálenostní rekord na uzavřené trati 59 km [27]. Jednalo se o hornoplošník s tažnou vrtulí vpředu s ovládáním pouze za pomoci výškového a směrového kormidla [28].

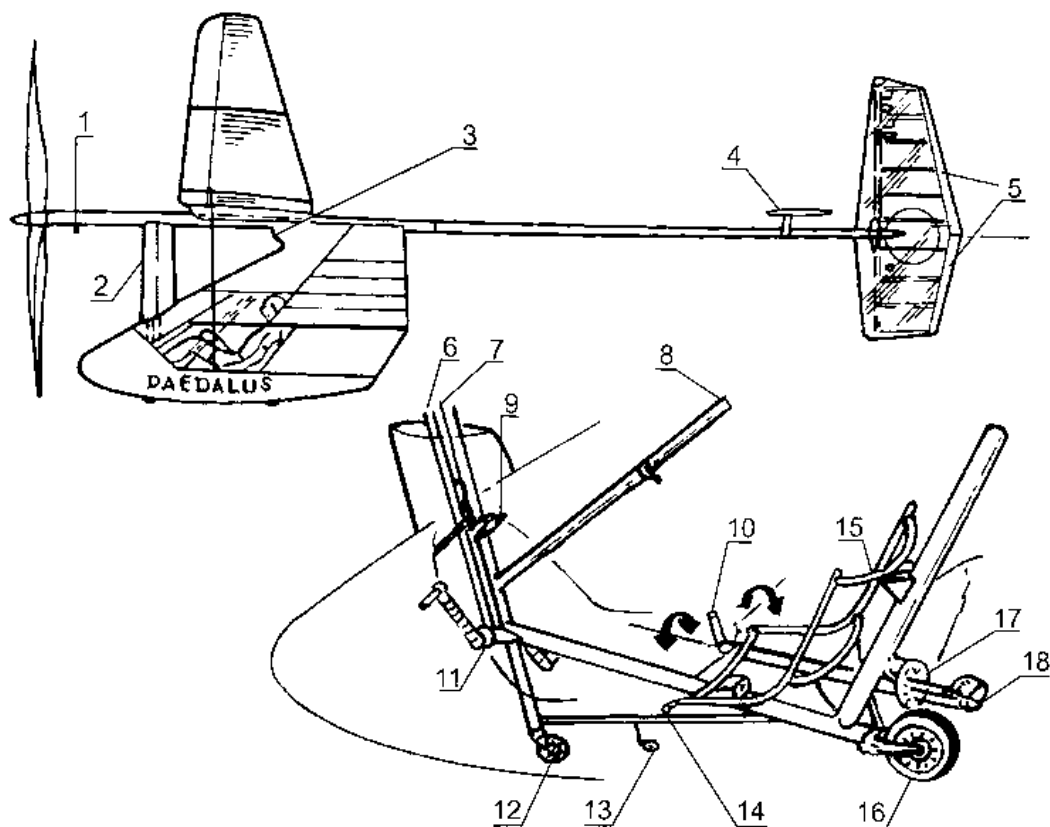


*Obrázek 22 Michelob Light Eagle [29]*

Návrh sestával z pečlivých výpočtů a simulací. Mark Drela pro stanovení ideálního profilu vymyslel, i dnes hojně používaný, výpočetní program XFOIL [28].

S ohledem na co nejnižší hmotnost a požadovanou pevnost byl velký důraz na výběr materiálů. Byly použity nejprogressivnější materiály té doby, na hnací hřídel a trup především prepregy uhlíkových kompozitů a kevlar, na kabinu sendvič balsy a pěny Rohacell

a na konstrukci křídla pěny Styrofoam a Foamular, pro potah sloužila opět folie Mylar. Velmi důležitá byla tvarová přesnost křídel, toho se docílilo numericky programovatelným strojem s řezným horkým drátem. Výsledkem byl nejpřesnější profil žeber, což zajišťovalo do té doby nejmenší odpor křídla [28].



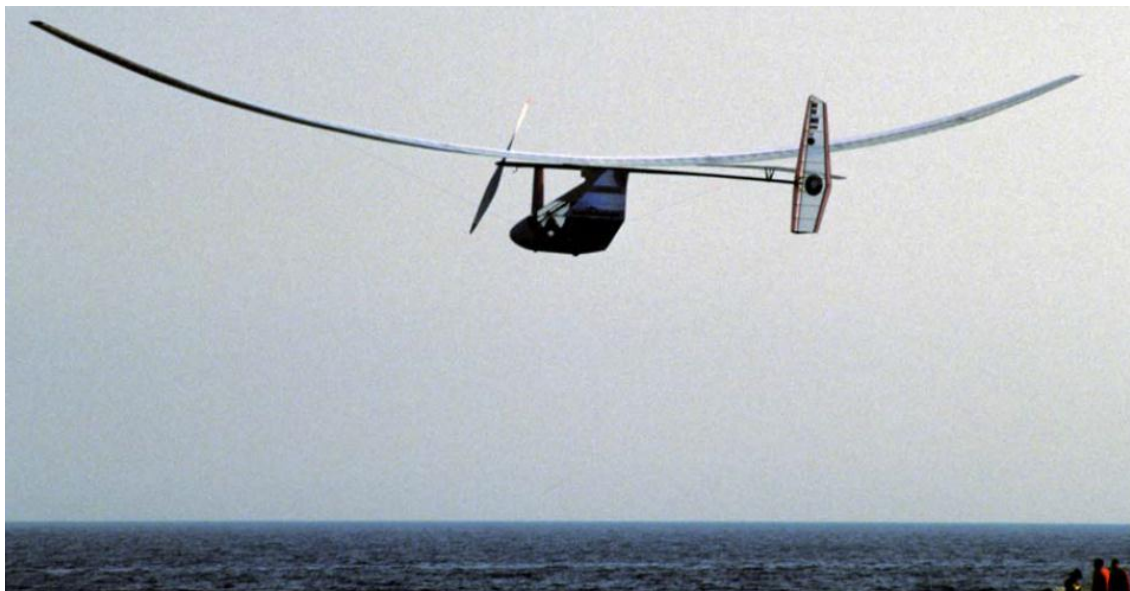
**Zajímavé detaily letadla MIT Daedalus:**

1 – indikátor otáček vrtule, 2 – aerodynamický kryt hřídele pohonu vrtule (a zároveň výztuha gondoly trupu s kabinou), 3 – vstupní otvor ventilace kabiny, 4 – výškové kormidlo na vyvýšeném pylonu, 5 – servoplošky směrového kormidla, 6 – hnací hřídel pohonu vrtule, 7 – kabeláž nastavování úhlů stoupání listů vrtule, 8 – páka nastavování úhlu stoupání listů vrtule, 9 – displej rychloměru a výškoměru, 10 – řídicí páka výškového a směrového kormidla, 11 – převodovka 2:3 s kuželovými ozubenými koly, 12 – odpružené předové kolo, 13 – sensor výškoměru „sonar“, 14 – tlačítko ovládání dvoucestné radiostanice, 15 – sedačka z Al-trubek s nylonovými popruhy, 16 – odpružené hlavní podvozkové kolo, 17 – kladka ovládání směrového kormidla, 18 – kladka ovládání výškového kormidla

Obrázek 23 Detaily letadla MIT Daedalus [5]

Pro zdar celého projektu, byli také s velkou důsledností vybírání pilotů. Do náročného výcviku postoupili nakonec 4 vrcholoví cyklisti, kteří byli pod neustálým dohledem sportovních doktorů a fyzioterapeutů. Kvůli zamezení havárie letounu a jeho zničení vlivem neznalosti ovládání, absolvovali všichni piloti letecký výcvik a spoustu hodin na leteckém simulátoru, který byl navržen speciálně pro tyto účely [28].

Po více jak roce návrhů a pečlivých příprav byl celý tým připraven na přesun na Krétu. Na ostrově čekali 3 týdny na ideální podmínky na přelet. Dne 23. dubna v 7 hodin ráno vybraný pilot Kaneloss Kanelopouloss usedá do letadla a míří z Kréty na ostrov Santorini. Tento den, kdy Kanelopouloss uletěl vzdálenost 119 km za 3 hodiny a 54 minut se zapsal do dějin.



*Obrázek 24 Letadlo Daedalus při přeletu [30]*

## 5 KONSTRUKČNÍ TRENDY

Pro vyhodnocení konstrukčních parametrů byla použita metoda statistického zpracování a byly vyhledány technické parametry celkem 52 letadel. Zkoumanými atributy jsou: rozpětí, nosná plocha, štíhlost a profil křídla, prázdná váha, vzletová hmotnost a plošné zatížení křídla. Mezi doplňující informace pak patří: materiál konstrukce, typ trupu, posed pilota, pozice vrtule, způsob řízení, datum prvního letu, uletěná vzdálenost, jméno konstruktéra a země původu.

### 5.1 MATERIÁL

Pro stavbu prvních HPA bylo použito především dřevo, pro nosné prvky převážně smrk a bříza, pro ostatní komponenty pak balsa, která se vyznačovala velmi nízkou hmotností.

Jako další materiál splňující požadavky na pevnost, tuhost a nízkou hmotnost byly využívány hliníkové slitiny, hlavně dural. Typické aplikace byly na šlapací pohon a hlavní nosník křídla.

Velký pokrok následoval při vývoji nových technologií výroby kompozitních materiálů. Kompozitní materiály měly velký význam v konstrukci moderních letadel poháněných lidskou silou, zejména díky jejich dobrému poměru hmotnosti vůči pevnosti. Dural má hustotu  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , grafitové kompozity dosahují na hranici  $1,6 \text{ g/cm}^3$ , což je úbytek o cca 60 % [5]. Přičemž kompozity vykazují vysokou pevnost a vysoký modul pružnosti.

Výhodou bylo také snadné zpracování a výroba jednotlivých částí. Nejpoužívanější kompozity určené pro nosné prvky a výztuhy byly ze skelných a uhlíkových vláken a Kevlaru. Pro výrobu potřebných tvarových prvků a jako výplňový materiál se používaly kompozitové a polystyrenové pěny zejména Rohacell, Styrodur a Conticell.

Velmi se osvědčila mikroskopicky tenká folie Mylar pro potahy. Při její tloušťce  $0,0065 \text{ mm}$  až  $0,012 \text{ mm}$  nepřidala téměř žádnou hmotnost a měla velmi dobré odporové vlastnosti [31].

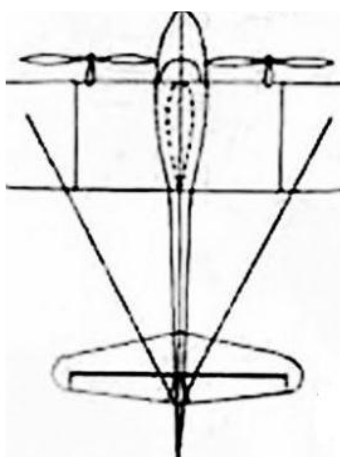
Nejpokrokovějšími materiály pro stavbu pak byly prepregy, s kterými se pracovalo ještě snadněji, z důvodu zajištění hmotnostního poměru vláken v kompozitu, který zajišťoval vyšší spolehlivost a pevnost při nižší hmotnosti.

## 5.2 KONSTRUKČNÍ PRVKY DRAKU

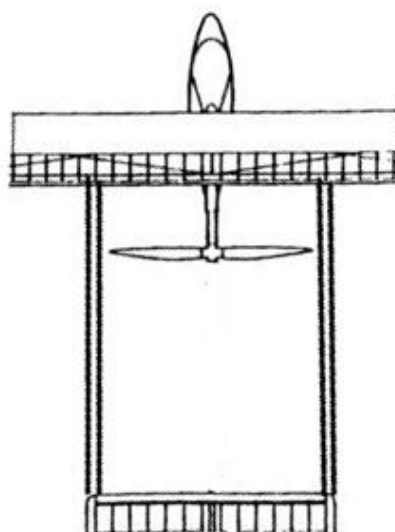
V rámci této podkapitoly budou blíže specifikovány jednotlivé části letadla poháněného lidskou silou.

### 5.2.1 TRUP

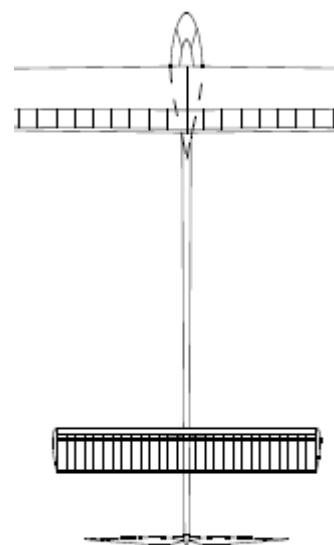
V počátcích konstrukce letadel poháněných lidskou silou byl trup téměř totožný s konvenčními letadly. Nicméně kvůli tomu, že se nevyužíval prostor v trupu pro náklad a ani zatížení od ocasních ploch nebylo příliš vysoké, byl zbytečně objemný a tudíž těžký. Později se proto nahradil dvěma trubkami a vznikl tak dvojtrup nosíkový. Při použití nových pevnějších materiálů se pak hojně využíval pouze jeden trup nosíkový. Konstrukci ilustrují následující obrázky.



Obrázek 25 Trup konvenční  
[vlastní zpracování]



Obrázek 26 Dvojtrup nosíkový  
[vlastní zpracování]



Obrázek 27 Trup nosíkový  
[vlastní zpracování]

### 5.2.2 KABINA

Prostor pro pilota byl uzpůsoben do dvou variant. První byla pro posed vzpříma, kde pilot šlapal jako na závodním kole, ve druhé byl pilot v pozici sedoleh. Při měřeních na ergometru nebylo prokázáno, který z posedů je výhodnější pro vyšší výkon pilota. Častěji se však používal právě druhý typ kabiny, protože se tak dosahovalo menších a aerodynamičtějších rozměrů.

### 5.2.3 KŘÍDLO

Na hlavní prvek nosné konstrukce byly vysoké nároky. Křídlo muselo co nejpřesněji kopírovat tvar profilu pro ideální hodnoty součinitele vztlaku, odporu a momentu  $CL$ ,  $CD$ ,  $CM$ . Ve většině případů sloužilo také k ovládní celého letadla. Hlavně však přenášelo zatížení od aerodynamických a setrvačných sil.

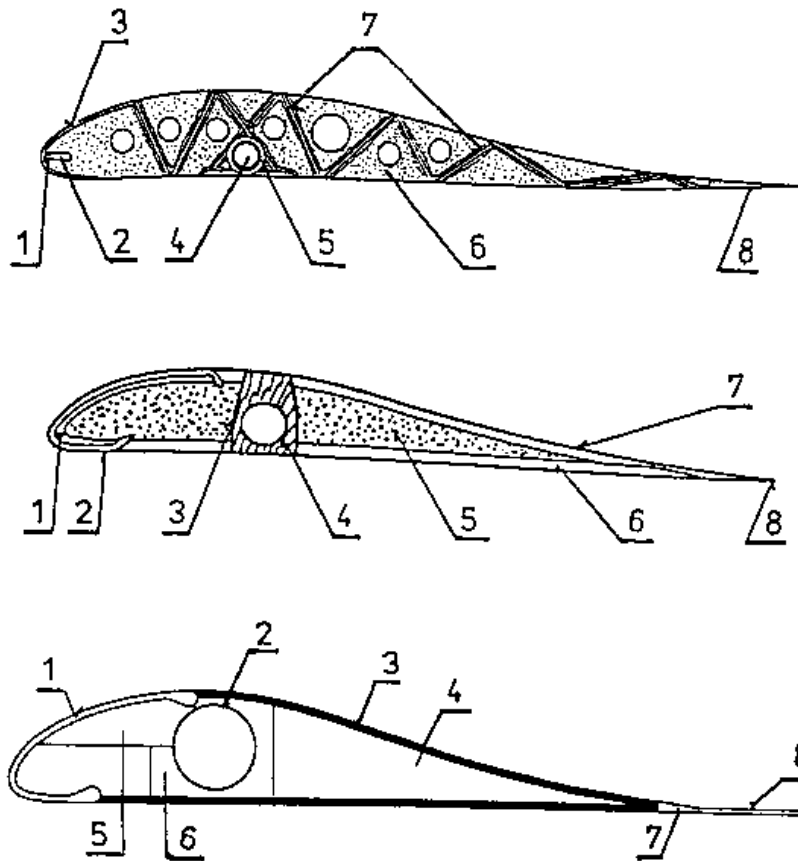
Vývoj probíhal nejprve upravováním konstrukce kluzáků, kde bylo samonosné křídlo nosníkové konstrukce vyztužené dráty nad a pod křídlem pro částečný přenos ohybového momentu. Následovala letadla řady Gossamer, která používala vyztužené konstrukce, kde zatížení přenášelo množství drátů a výztuh. S vývojem technologií a materiálů se rekonstruktéři vraceli ke konstrukci nosníkové.

Varianty konstrukce křídla a způsob přenosu zatížení (dále viz tabulka v příloze):

A) pro přenos ohybového momentu byl použit nosník, vyztužený dráty uchycenými nad a pod křídlem, kroutící moment byl přenášán žebry a potahem dutiny křídla;

B) přenos kroutícího i ohybového momentu byl zajištěn dráty rozvedenými dále do konstrukce;

C) ohybový moment přenáší trubkovitý nosník a kroutící moment potah a žebra dutiny křídla [7].



**Gossamer Albatross (profil Lissaman 7669)**

1 – ocelová struna o průměru 0,56 mm, 2 – pomocný nosník s polystyrenovým jádrem a dvěma pásy uhlíkového kompozitu, 3 – náběžná hrana z tenkého pěnového polystyrénu, 4 – hlavní trubkový nosník z uhlíkového kompozitu o průměru 50,8 mm, 5 – překližkový kroužek, 6 – žebro z pěnového polystyrénu odlehčené otvory, 7 – diagonální výztuhy z uhlíkových vláken přilaminované na bok žebra, 8 – kevralové zesílení odtokové hrany s vloženou ocelovou strunou

**MIT Monarch B (profil modifikovaný Lissaman 7769)**

1 – ocelová struna o průměru 0,56 mm, 2 – náběžná hrana z polystyrénu tloušťky 5 mm, 3 – stojina z překližky, 4 – hlavní nosník z duralové trubky o průměru 63,5 mm a tloušťce stěny 0,9 mm, 5 – žebro z pěnového polystyrénu tloušťky 6 mm, 6 a 7 – lem žebra z uhlíkového kompozitu, 8 – ocelový drát o průměru 0,8 mm v odtokové hraně

**Bionic Bat (profil Liebeck LH 110)**

1 – náběžná hrana z pěnového polystyrénu, 2 – trubkový nosník z uhlíkového kompozitu s vnitřním průměrem 4 palce, 3 – lem z uhlíkového kompozitu, 4 – zadní část žebra z pěnového polystyrénu tloušťky ¼ palce, 5 – dělená přední část žebra z pěnového polystyrénu tloušťky ¼ palce, 6 – zesilující tkanina z uhlíkového kompozitu tloušťky 1/64 palce, 7 – odtoková hrana z polystyrénu zpevněného kevralovými vlákny, 8 – prodloužení odtokové hrany z polystyrénu tloušťky ¼ palce

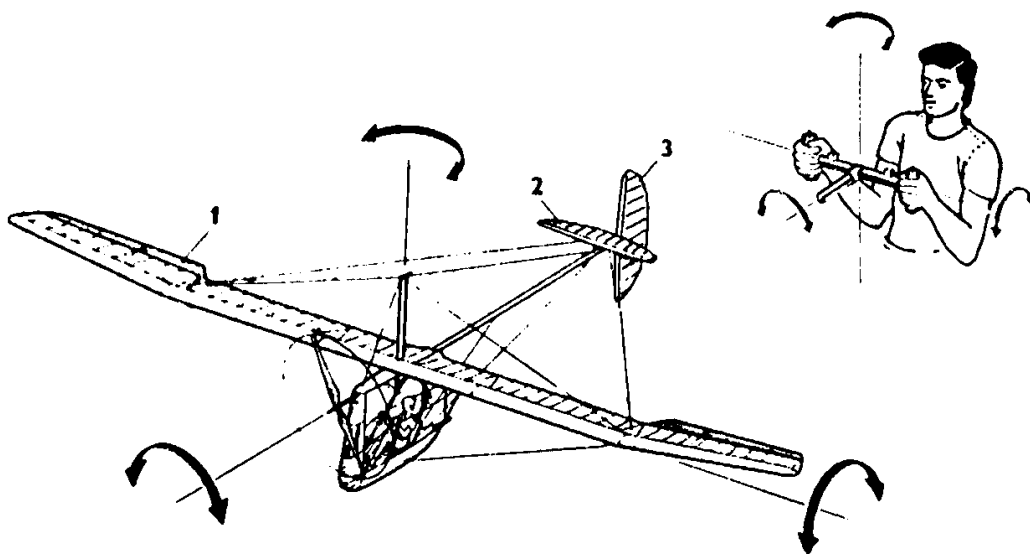
Obrázek 28 Konstrukce křídla tří úspěšných letadel [5]



## 5.2.4 OVLÁDÁNÍ

U prvních typů letadel bylo ovládání řízení řešeno klasickým způsobem, to znamená většinou křídélky, v některých případech směrovkou a výškovkou. Tento způsob nebyl při nízkých rychlostech příliš účinný, proto se začalo využívat kroucení konců křídel, pro potřebu zatáčení.

U kategorie letadel poháněných lidskou silou určených pro rychlost byla účinnost křídélek již dostatečná, proto se jich začalo opět více užívat.



**Řízení šlapacích letadel jednou ruční pákou kolem všech tří os – podélné, příčné a svislé (1 – křídélka, 2 – výškovka, 3 – směrovka) je značně náročné na koordinaci pohybů pilota.**

*Obrázek 29 Ukázka ovládání šlapacího letadla [5]*

## 5.2.5 POHON

Velká pozornost byla upoutána na vývoj co nejučinnějších vrtulí, protože jen tehdy byl možný udržitelný let při velmi malém výkonu lidských svalů. Bylo zjištěno, že člověk může po delší dobu vydávat výkon  $W=0,15-0,2 \text{ kW}$ , chvilkově potom maximum  $W=0,75 \text{ kW}$ . Pro start je potřeba minimální hodnota  $W=0,37 \text{ kW}$ , při zatáčení potom  $W=0,3 \text{ kW}$  [32].

Vzhledem k tomu, že vrtule byly pomaloběžné s otáčkami kolem 100/min a velkých rozměrů s průměrem kolem 3-4 metrů, byla účinnost velice důležitá.

Pomocí různých výpočetních metod, aerodynamických simulací a experimentů se postupně zvyšovala účinnost vrtulí až na hodnotu 89%. Velkým pokrokem bylo použití vrtulí s nastavitelným úhlem náběhu, které tak byly efektivní při různých režimech letu.

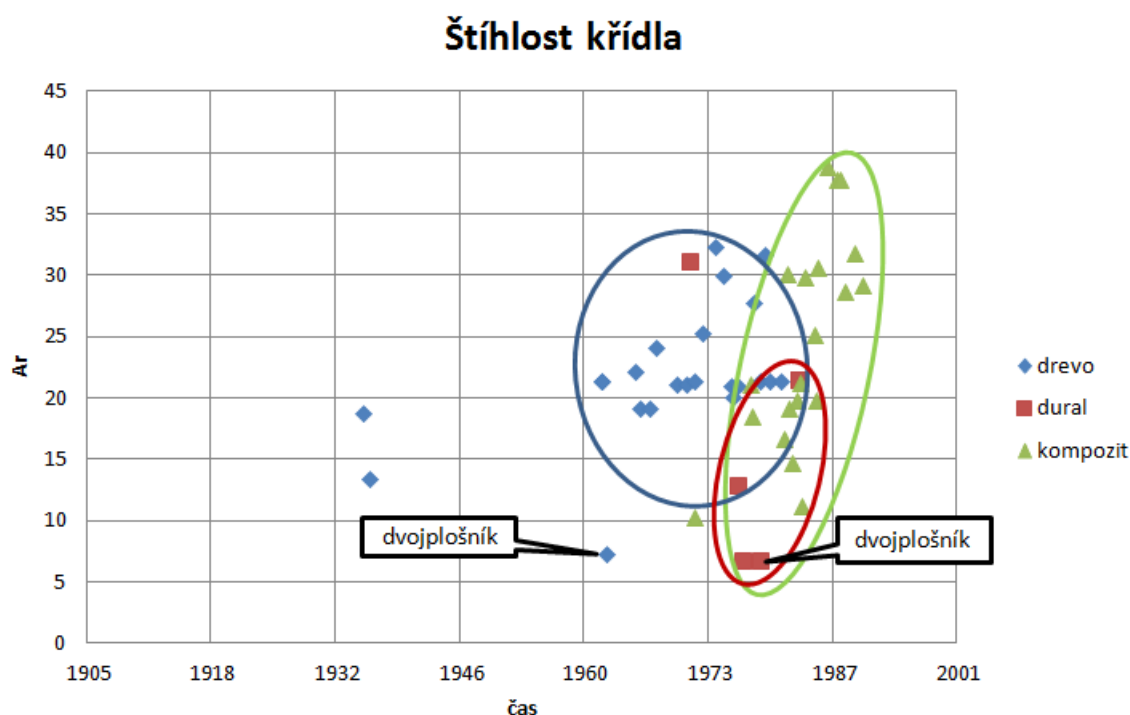
U různých variant konstrukce se liší také umístění vrtule, zejména je to umístění za kýlovou plochou, za pilotní kabinou přímo nebo u letadel s konvenčním trupem na pylonu a poslední možnost na nosu letadla. Rozlišují se tak vrtule tlačné a tažné.

Co se týče účinnosti, nebylo prokázáno, která z těchto možností je výhodnější. Nejčastější jsou však vrtule tlačné, ve většině případů umístěné za kýlovou plochou.

## 6 VYHODNOCENÍ KONSTRUKČNÍCH PARAMETRŮ

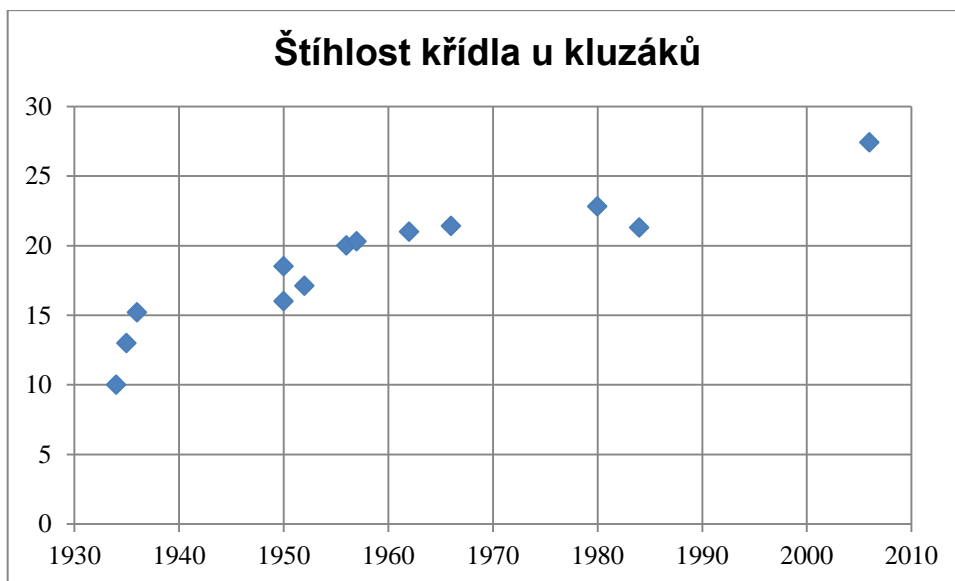
Byla nalezena technická data celkem 52 letadel v časovém rozmezí od roku 1935 do roku 1990. Cílem je vyhodnotit z grafů vývojový trend v konstrukci v závislosti na čase. Pozorujeme vykreslená data pro parametry: štíhlost křídla, prázdná hmotnost, vzletová hmotnost, plošné zatížení křídla a uletěná vzdálenost.

### 6.1 ŠTÍHLOST KŘÍDLA



Graf č. 1 Závislost změny štíhlosti na čase [vlastní zpracování]

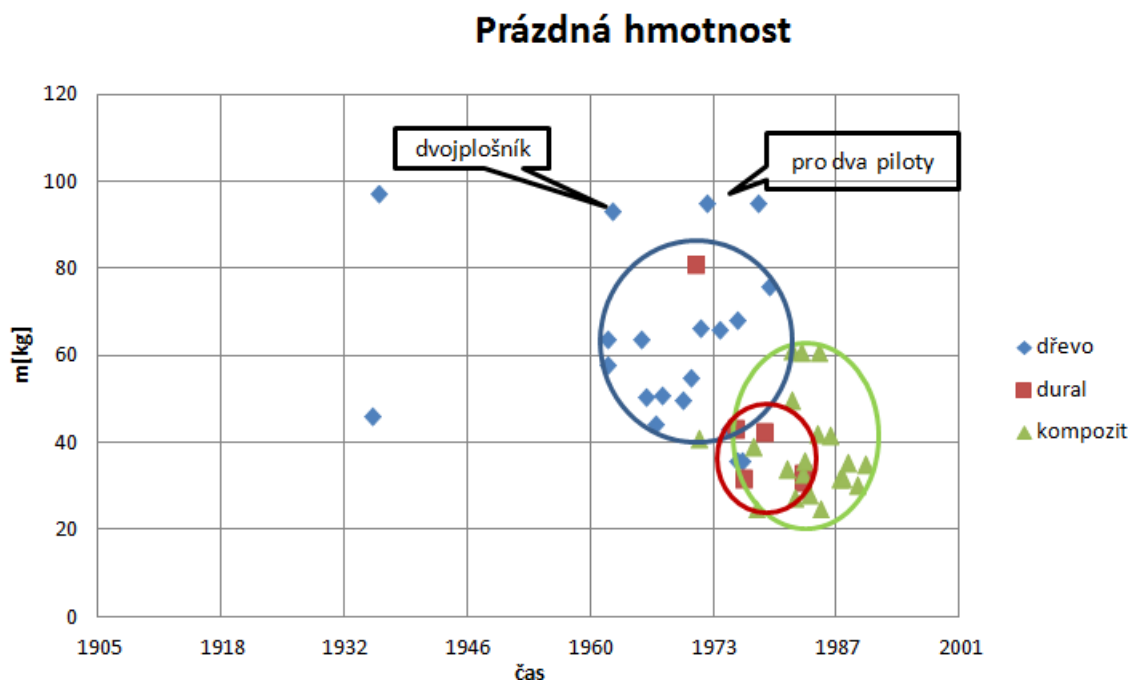
Štíhlost křídla ovlivňuje zejména indukovaný odpor, proto je to důležitý parametr pro hodnocení. Z vykreslených dat můžeme vidět rostoucí štíhlost křídla v korelaci s použitým materiálem. Nejvyšší štíhlost pro dřevěné konstrukce má letadlo Aviette s hodnotou 32,36, pro duralové konstrukce křídla má nejvyšší štíhlost 31,25 letadlo Dumbo-Mercury a pro kompozitové konstrukce je to letadlo Daedalus 88 se štíhlostí 37,75. I přesto, že mezi vyobrazenými výsledky je značný rozptyl, je možné vysledovat stoupající trend v čase, tzn. že s postupem času štíhlost křídla stoupala.



Graf č. 2 Závislost změny štíhlosti křídla kluzáků na čase [vlastní zpracování]

Pro srovnání je přidán graf vývoje štíhlosti u kluzáků v časovém rozmezí od roku 1934 po rok 2006. Lze zde také vidět stoupající tendence trendu. Hodnoty však nejsou tak vysoké jako u HPA, zejména kvůli rozpětí, které je z praktických a pevnostních důvodů mnohem menší a vyšší rychlosti kluzáků.

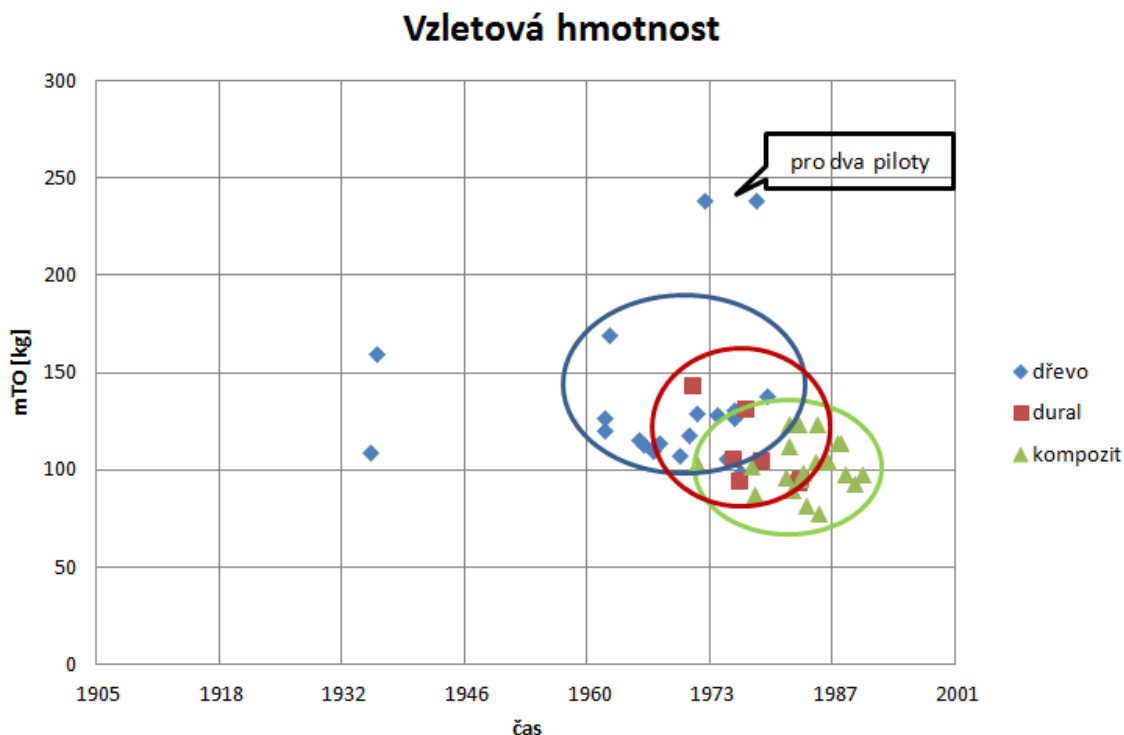
## 6.2 PRÁZDNÁ HMOTNOST



Graf č. 3 Závislost změny prázdné hmotnosti na čase [vlastní zpracování]

Hmotnost je rozhodujícím faktorem, který ovlivňuje letové výkony. V některých případech se zdá, že starší dřevěná letadla měla nižší hmotnost než novější kompozitová, nicméně je to způsobeno tím, že ve statistice jsou zahrnuta úspěšná i neúspěšná letadla, která tvoří právě tento rozdíl. Když vezmeme průměrné hodnoty pro dané materiály, lze z grafu vidět snižování hmotnosti, při změně materiálu a využití nových konstrukčních prvků.

### 6.3 VZLETOVÁ HMOTNOST

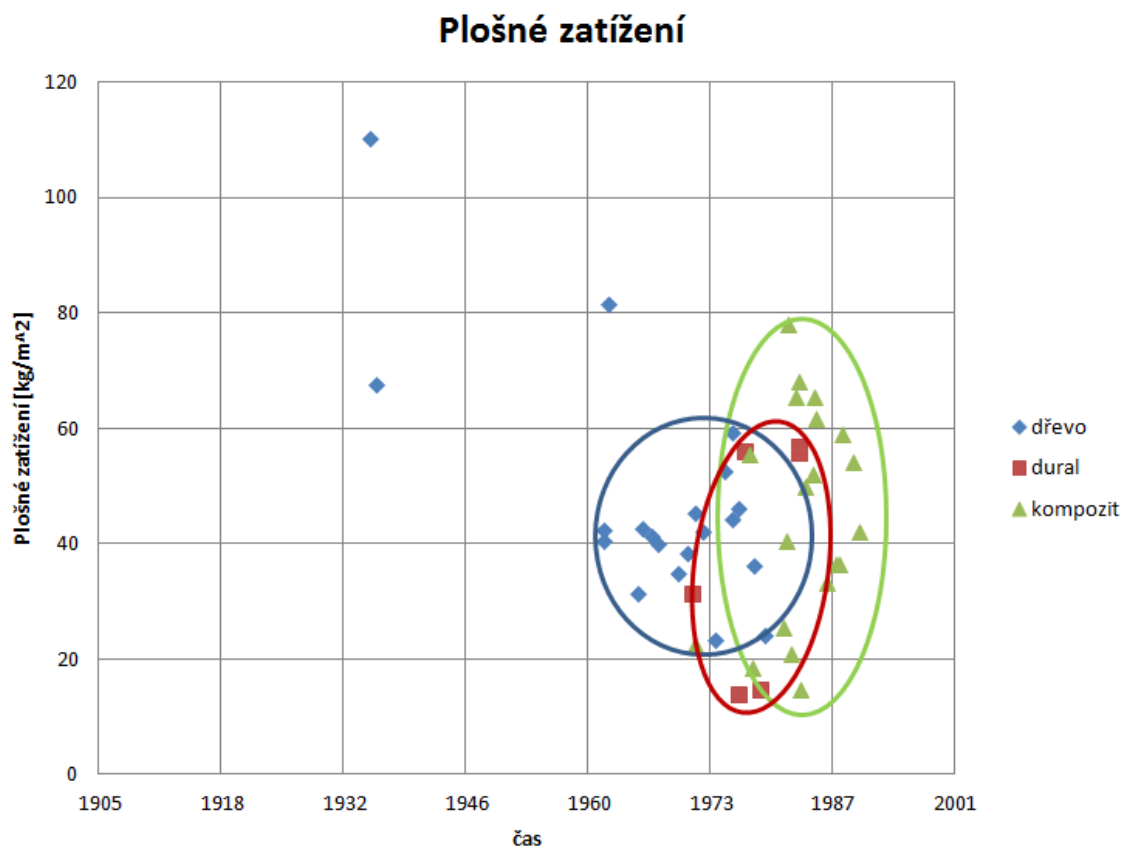


Graf č. 4 Závislost změny vzletové hmotnosti na čase [vlastní zpracování]

Vzletová hmotnost je součtem prázdné hmotnosti a hmotnosti pilota. U letadel, kde nebyla známa hmotnost pilota byl použit průměr známých hodnot hmotností.

Trend je jako u grafu prázdné hmotnosti klesající, ale již ne tak výrazně. Poněvadž byla letadla konstruována většinou pro překonání rekordu, byla zapotřebí také co nejnižší váha pilota. Tudíž zde nebyla tendence vzletovou hmotnost zvyšovat.

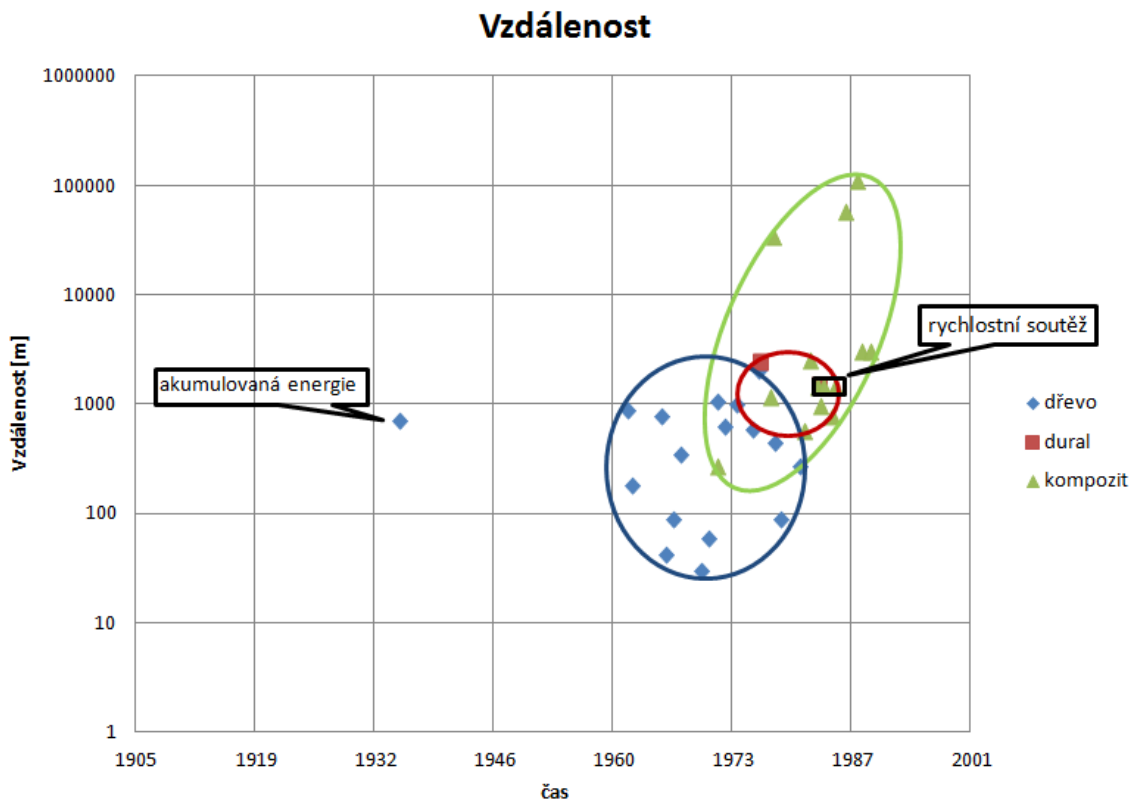
## 6.4 PLOŠNÉ ZATÍŽENÍ



Graf č. 5 Závislost změny plošného zatížení na čase [vlastní zpracování]

Plošné zatížení je poměr vzletové hmotnosti ku nosné ploše křídla. V časovém vývoji se neprojevil žádný viditelný trend při změně technologie a konstrukčních materiálů. Rozptýl hodnot je také poměrně vysoký, tudíž se nedá vysledovat určitý posun.

## 6.5 VZDÁLENOST



Graf č. 6 Závislost změny vzdálenosti na čase [vlastní zpracování]

Dozažení maximálního doletu bylo hlavním motivem výrobců letadel poháněných lidskou silou. Vzdálenost byla hlavním indikátorem posuzování letových výkonů letadla. U grafu vzdálenosti lze zpozorovat významný nárůst hodnot vždy při změně technologie. Pro větší názornost bylo zvoleno logaritmické měřítko na ose vzdálenosti. Vidíme, že u dřevěných konstrukcí docházelo ke zlepšování v řádu desítek až stovek metrů, přičemž při využití kompozitních materiálů je tento pokrok již v řádech tisíců metrů. Nutno však podotknout, že k překonání doposud maximální vzdálenosti 119 km byl zapotřebí velmi nákladný vývoj. Speciální pozornost byla věnována také pilotům, kteří se na tento let dlouhodobě velice důkladně připravovali.

## 7 DOSAŽENÉ REKORDY

Následující kapitola shrnuje doposud dosažené rekordy v oblasti letadel pohaněných lidskou silou.

### 7.1 KATEGORIE: MUŽI

Tab. 1 První Kremerova cena

První Kremerova cena- 1 míle ležatá osmička						
Rychlost [km/h]	Čas [m:s]	název	konstruktér	Pilot	datum	Lokalita
12,87	7:30	Gossamer Condor	Paul McCready	Bryan Allen	23.08.1977	USA

Zdroj: vlastní zpracování

Tab. 2 Druhá Kremerova cena

Kremerova rychlostní cena						
Rychlost [km/h]	Čas [m:s]	Název	konstruktér	Pilot	datum	Lokalita
30,86	2:55,0	Monarch B	MIT	Frank Scarabino	11.05.1984	USA
33,07	2:43,3	Bionic Bat	Paul McCready	Parker McCready	18.07.1984	USA
35,67	2:31,4	Musculair I	Gunter Rochelt	Holger Rochelt	21.08.1984	Německo
37,74	2:23,1	Bionic Bat	Paul McCready	Bryan Allen	12.02.1984	USA
44,26	2:02,0	Musculair II	Gunter Rochelt	Holger Rochelt	10.02.1985	Německo

Zdroj: vlastní zpracování



Tab. 3 Rekord na uzavřené trati

Uzavřená trať- vzdálenost a doba							
Vzdálenost[km]	Rychlost [km/h]	Čas [h:m:s]	název	konstruktér	Pilot	datum	Lokalita
58,66	26,43	2:13:14	Michelot Light Eagle	MIT	Glenn Tremml	23.01.1987	USA

Zdroj: vlastní zpracování

Tab. 4 Rekord na přímé trati

Přímá trať- vzdálenost a doba							
Vzdálenost[km]	Rychlost [km/h]	Čas [h:m:s]	název	Konstruk-tér	Pilot	datum	Loka-lita
37	12,75	2:49:00	Gossamer Albatross	Paul McCready	Bryan Allen	12.06.1979	Anglie
119	30,59	3:53:30	Daedalus 88	MIT	Kaneloss Kanelopoulos	23.04.1988	Řecko

Zdroj: vlastní zpracování

## 7.2 KATEGORIE: ŽENY

Tab. 5 Rekord na přímé trati

Přímá trať- vzdálenost a doba							
Vzdálenost[km]	Rychlost [km/h]	Čas [m:s]	název	konstruktér	Pilot	datum	Lokalita
15,44	24,94	37:14:0	Michelot Light Eagle	MIT	Lois McCallin	22.01.1987	USA

Zdroj: [33]

## 8 BUDOUCÍ VÝVOJ

Z počátku se zdál let pouze pomocí lidských svalů v očích odborníků v letectví nereálný. Další vývoj však ukázal, že to možné je. Především zásluhou Henryho Kremera, který inicioval rozvoj letadel poháněných lidskou silou vypsáním série odměn za překonání konkrétního milníku, čímž významně posouval limity možného.

Výjimečný přelet kanálu La Manche letadlem Gossamer Albatross a fenomenální přelet letadla MIT Daedalus z Kréty na řecký ostrov Santorini, vzbudil velký zájem široké veřejnosti. Po těchto úspěšných letech neoptimističtější předpovědi naznačovaly, že by létání vlastní silou mohlo být zajímavou sportovní aktivitou a později dokonce jednou z disciplín na Olympijských hrách. Ačkoli bylo získáno v této oblasti mnoho poznatků a byly objasněny základní principy letu při nízkých rychlostech, hlavní nevýhodou stále zůstával nedostatečný výkon člověka pro ustálený let. Rekordní lety uskutečnili špičkoví sportovci, ve většině případů šampioni v cyklistice, kteří byli připravováni právě pro daný účel.

Proto přicházely nápady na kombinaci lidského pohonu s jiným zdrojem energie. Možností hybridního pohonu se nabízelo více, mezi které patří například pomocí solárních, bateriových nebo palivových článků.

Jako první bylo letadlo Gossamer Penguin, které využívalo solární energii. K pohonu sloužilo celkem 3920 článků, které měnily energii slunečního záření na elektrickou a zajišťovaly za ideálních podmínek výkon 0,5kW. Penguin byl o třetinu zmenšený model letadla Gossamer Albatross, i se solárním panelem vážil 45 kg. Dne 7. srpna 1980 s ním pilotka Janice Brown uletěla vzdálenost 3,4 km za 14 minut 21 sekund.



Obrázek 30 Gossamer Penguin ve zkušebním letu [34]

Možnosti bateriových článků testoval projekt s názvem Oxyride Dry Cell Manned Flight. Japonské letadlo o rozpětí 31 metrů a hmotností 54 kg, původně pro lidský pohon, bylo opatřeno baterií se 160 oxyridovými články. V červenci roku 2006 setrvalo letadlo ve vzduchu 59 sekund a uletělo vzdálenost 391,4 metrů [35].

Budoucí vývoj letadel poháněných pouze lidskou silou je podporován konáním každoročních soutěží Icarus Cup a International Birdman Rally. Soutěž Icarus Cup vznikla v roce 2001 za účelem oslavy 50tého výročí od prvního letu v Anglii. Jedním z cílů je snaha zvyšovat zájem veřejnosti o oblast letadel poháněných lidskou silou a jako atraktivní novodobý sport. Myšlenkou je inspirovat více lidí k navrhování a stavění nových letadel společně se sdílením poznatků a soutěžení [36]. Birdman Rally se poprvé konala v roce 1977 a sloužila pouze pro zábavu, kdy lidé v různých kostýmech a s po domácku vyrobenými křídly skákali z vyvýšené plošiny do jezera Biwa.

Od té doby se posunula úroveň soutěže a aktuálně jsou rozlišovány tři kategorie, z nichž ta nejnáročnější je soutěž šlapacích letadel [37]. Tyto soutěže podněcují nadšence k dalšímu vývoji a inovacím těchto letadel.

Vzhledem k nákladnosti výroby existuje v současné době mnoho dalších možností rekreačního létání, jako například paragliding nebo rogalo, které jsou cenově příznivější a méně náročné pro uživatele. Proto se budoucí vývoj letadel poháněných lidskou silou nedá dopředu predikovat. Nicméně v případě vypsání dalších odměn a výzev je velmi pravděpodobné, že se vývoj těchto letadel v kombinaci s hybridním pohonem opět nastartuje. Nadějí jsou právě výše zmíněné soutěže a vývoj nových technologií.

## 9 ZÁVĚR

V této bakalářské práci byl vypracován přehled letadel poháněných lidskou silou, byla popsána konstrukce draku, technologie a specifické konstrukční prvky nejvýznamnějších letadel. Ačkoli letadel v této kategorii bylo více a každé z nich bylo specifické svou konstrukcí a použitými komponenty, nebylo v možnostech rozsahu této práce popsat všechny podrobně.

Vývoj letadel od počátečních pokusů do dnešních dnů ukázal značný posun, podnítil vývoj ultralehkých pevných materiálů, které našly uplatnění i v konstrukci standartních letadel. Hlavní zásluhu má v rozvoji této oblasti Henry Kremer, který svými soutěžemi podněcoval zájem konstruktérů celého světa o překonání dosavadních možností člověka v letu pouze za použití vlastní síly.

Zpracovaná data, na kterých se sleduje vývojový trend, jsou do roku 1990. Neznamená to však, že by později již žádná letadla vyrobena nebyla, ovšem žádné z nich nedosáhlo významnějšího výsledku a nejsou k dohledání ani jejich technické parametry.

Po vyhodnocení konstrukčních parametrů není jednoznačné, jakým směrem se bude tato oblast letadel ubírat a zda budou vůbec probíhat pokusy o překonání dosavadních rekordů. Jednou z možností budoucího vývoje je vypsání nových výzev a soutěží, které mohou oblast posunout mílovými kroky kupředu.

Ačkoli jsou poměrně rozvinuté možnosti alternativních pohonů, hlavními nedostatky letadel poháněných lidskou silou zůstávají příliš velké rozměry, velmi nákladná výroba a v neposlední řadě omezená ovladatelnost a křehká konstrukce náchylná na poškození.

Hlavním přínosem práce je shrnout všechny důležité události, které se odehrály v oblasti letadel poháněných lidskou silou a zhodnocení vývojových trendů pro predikci budoucího rozvoje.

## 10 ZDROJE POUŽITÉ LITERATURY

- [1] TREW, James. The Highs and Lows of Human-Powered Flight. [online]. 1.2.2013 [cit. 2014-02-15]. Dostupné z: <http://www.engadget.com/2013/02/01/the-highs-and-lows-of-human-powered-flight/>
- [2] Fascination With Flight - Over 1000 Years of Trial and Error. [online]. 20.1.2013 [cit. 2014-02-15]. Dostupné z: <http://events.nationalgeographic.com/events/special-events/2013/01/20/fascination-flight-over-1000-years-trial-and-error/>
- [3] GUÐMUNDSDÓTTIR, Eyrún. Leap of Faith. [online]. 6.10.2008 [cit. 2014-02-15]. Dostupné z: <http://smjerpinkill.blogspot.cz/2008/10/leap-of-faith.html>
- [4] GREY, Carol. Leonardo Da Vinci. [online]. 2003 [cit. 2014-02-18]. Dostupné z: <http://www.flyingmachines.org/davi.html>
- [5] HRUBÍŠEK, Ivo. Nebeští cyklisté: aeroplány poháněné šlapáním. 1. vyd. Plzeň: Cykloknihy, 2010, 157 s. ISBN 978-80-87193-11-2.
- [6] JAMES, Donald. The Origins of the First Powered, Man-carrying Airplane. [online]. [cit. 2014-02-19]. Dostupné z: <http://quest.nasa.gov/aero/wright/background/origin.html>
- [7] Human Powered Flying. [online]. [cit. 2014-02-19]. Dostupné z: <http://www.humanpoweredflying.propdesigner.co.uk/>
- [8] A brief History of Human Powered Transportation. [online]. [cit. 2014-02-19]. Dostupné z: [https://www.princeton.edu/~maelabs/hpt/his/hpt\\_58.htm](https://www.princeton.edu/~maelabs/hpt/his/hpt_58.htm)
- [9] Historic Wings. [online]. [cit. 2014-02-25]. Dostupné z: <http://fly.historicwings.com/wp-content/uploads/2013/03/HighFlight-Pedaliante4.jpg>
- [10] Royal Aeronautical Society: Kremer Competition. [online]. [cit. 2014-02-28]. Dostupné z: <http://aerosociety.com/About-Us/specgroups/Human-Powered/Kremer>
- [11] DRELA, M. Aerodynamics of Human-Powered Flight. *Annual Review of Fluid Mechanics* [online]. 1990, vol. 22, issue 1, s. 93-110 [cit. 2014-02-28]. DOI: 10.1146/annurev.fl.22.010190.000521. Dostupné z: <http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.fl.22.010190.000521>
- [12] Condor I. [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: [http://pictures.propdesigner.co.uk/html/condor\\_1\\_0.html](http://pictures.propdesigner.co.uk/html/condor_1_0.html)
- [13] LISSAMAN, P.B.S., JEX a P.B. MACCREADY. Aerodynamics of Flight at Speeds under 5m/s. [online]. 1979 [cit. 2014-03-04]. Dostupné z: [http://library.propdesigner.co.uk/condor\\_paper.pdf](http://library.propdesigner.co.uk/condor_paper.pdf)

- [14] JEX, Henry R. a David Glen MITCHELL. Stability and Control of the Gossamer Human-powered Aircraft by Analysis and Flight Test, Svazek 3627. [online]. 1982 [cit. 2014-03-15]. Dostupné z:[http://books.google.cz/books/about/Stability\\_and\\_Control\\_of\\_the\\_Gossamer\\_Hu.html?id=cgqFMWH0A1oC&redir\\_esc=y](http://books.google.cz/books/about/Stability_and_Control_of_the_Gossamer_Hu.html?id=cgqFMWH0A1oC&redir_esc=y)
- [15] MOULTON, Ron. The Gossamer Albatross: Epic story of Paul MacCready's 100,000 Kremer prizewinning Man Powered Aircraft. [online]. [cit. 2014-03-21]. Dostupné z:[http://aerosociety.com/Assets/Docs/About\\_Us/HPAG/Magazine/HP\\_albatross.pdf](http://aerosociety.com/Assets/Docs/About_Us/HPAG/Magazine/HP_albatross.pdf)
- [16] The Flight Of The Gossamer Albatross. [online]. [cit. 2014-03-25]. Dostupné z:[http://www.avinc.com/about/gossamer\\_albatross/](http://www.avinc.com/about/gossamer_albatross/)
- [17] Academy of Achievement. [online]. 1996-2014 [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: <http://www.achievement.org/autodoc/photocredit/achievers/mac0-047>
- [18] *Paul MacCready's Human- and Solar-Powered Aircraft* [online]. [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: [http://www.donaldmonroe.com/gallery/gossamer-albatross/ga64\\_19.jpg.php](http://www.donaldmonroe.com/gallery/gossamer-albatross/ga64_19.jpg.php)
- [19] Albatross I. [online]. [cit. 2014-03-29]. Dostupné z: [http://pictures.propdesigner.co.uk/html/albatross\\_1\\_0.html](http://pictures.propdesigner.co.uk/html/albatross_1_0.html)
- [20] The Kremer Competition: What are the Kremer Prizes?. [online]. [cit. 2014-03-29]. Dostupné z:<http://www.personal.soton.ac.uk/aijf197/suhpa/kremer.html>
- [21] FLIGHT International. [online]. 16.3.1985 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://www.flightglobal.com/FlightPDFArchive/1985/1985%20-%200745.PDF>
- [22] Bionic Bat Gallery. [online]. [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: [http://pictures.propdesigner.co.uk/html/bionic\\_bat\\_gallery\\_6.html](http://pictures.propdesigner.co.uk/html/bionic_bat_gallery_6.html)
- [23] LANGFORD. A Human Powered Speed Aircraft Using Electrical Energy Storage. [online]. 1984 [cit. 2014-04-18]. Dostupné z:<http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/15247/13290538.pdf?...1>
- [24] The Musculair 1 & 2 Human-Powered Aircraft and Their Optimization. [online]. 21.2.2011 [cit. 2014-04-18]. Dostupné z:<http://www.docstoc.com/docs/71979037/Musculair--The-Muscalair-1--2-Human-Powered-Aircraft-and-Their>
- [25] Solair II. [online]. [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: <http://www.solarpolis.de/Archiv/Seiten/solair.htm>
- [26] Solar Flight. [online]. [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: <http://www.solar-flight.com/heritage2/#gunther-rochelt>
- [27] Daedalus Human-Powered Aircraft. [online]. 1987 [cit. 2014-04-24]. Dostupné z:<http://www.nasa.gov/centers/dryden/multimedia/imagegallery/Daedalus/EC87-0014-8.html>

- [28] MCINTYRE, John. Man's greatest flight. [online]. [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://www.scribd.com/doc/134610906/Daedalus>
- [29] Daedalus Human Powered Aircraft: Daedalus Project's Light Eagle. [online]. 1987 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://www.dfrc.nasa.gov/Gallery/Photo/Daedalus/HTML/EC87-0014-8.html>
- [30] Flight of Daedalus From Crete to Santorini. [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://libraries.mit.edu/archives/exhibits/daedalus/>
- [31] Mylar: Polyester Film. [online]. [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://www.iec-international.com/dupont/a48.pdf>
- [32] WILKIE, D.R. Journal of The Royal Aeronautical Society: Man as an Aero Engine. [online]. 1960 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: [http://aerosociety.com/Assets/Docs/About\\_Us/HPAG/Papers/HP\\_wilkie.pdf](http://aerosociety.com/Assets/Docs/About_Us/HPAG/Papers/HP_wilkie.pdf)
- [33] IPVA: International Human Powered Association. [online]. 2008-2009 [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.ihpva.org/hpvareca.htm#nom40>
- [34] Solar-powered Gossamer Penguin in flight. [online]. [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.dfrc.nasa.gov/Gallery/Photo/Albatross/HTML/ECN-13413.html>
- [35] The World's First Success in Manned Flight by Dry-cell Batteries. [online]. 2006 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.bite-japan.com/eng/oxyride-e.html>
- [36] ICARUS CUP: World Championships. [online]. 2006 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://aerosociety.com/About-Us/specgroups/Human-Powered/Icarus-Cup>
- [37] Japan's Incredible, Human-Powered Flying Machines. [online]. 2006 [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <http://www.tofugu.com/2012/04/21/japans-incredible-human-powered-flying-machines/>

## 11 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Abbas Ibn Fimas [2].....	11
Obrázek 2 Mnich Eilmera z Malesbury[3] .....	12
Obrázek 3 Náčr letajícího stroje [4] .....	12
Obrázek 4 Otto Lilienthal v letu [6] .....	13
Obrázek 5 Ilustrace letícího Poulaina [1] .....	14
Obrázek 6 Schéma stroje společnosti Farman [8] .....	14
Obrázek 7 Boční pohled na letadlo Muflí [5, s. 21] .....	15
Obrázek 8 Tří pohledový výkres letadla Pedaliante [9] .....	16
Obrázek 9 Znárodnění dráhy tzv. „Osmičkového“ letu [5] .....	17
Obrázek 10 Letadlo Stork B [5] .....	18
Obrázek 11 Výkres letadla Gossamer Condor I. [12] .....	20
Obrázek 12 Profil Lissaman 7669 [13] .....	20
Obrázek 13 Letadlo Gossamer Condor [7].....	21
Obrázek 14 Výkres letadla Gossamer Condor II. [14] .....	22
Obrázek 15 Letadlo Albatross po přistání na francouzském pobřeží [18] .....	25
Obrázek 16 Výkres letadla Gossamer Albatross [19] .....	25
Obrázek 17 Schéma dráhy [20] .....	26
Obrázek 18 Konstrukce kabiny Bionic Bat [22] .....	27
Obrázek 19 Popis pohonné jednotky letadla MIT Monarch B [5] .....	28
Obrázek 20 Musculair I s pasažérem [26] .....	29
Obrázek 21 Musculair II v letu [7] .....	30
Obrázek 22 Michelob Light Eagle [29] .....	31
Obrázek 23 Detaily letadla MIT Daedalus [5] .....	32
Obrázek 24 Letadlo Daedalus při přeletu [30] .....	33
Obrázek 25 Trup konvenční [vlastní zpracování].....	35
Obrázek 26 Dvojtrup nosníkový [vlastní zpracování].....	35
Obrázek 27 Trup nosníkový [vlastní zpracování].....	35
Obrázek 28 Konstrukce křídla tří úspěšných letadel [5].....	37
Obrázek 29 Ukázka ovládnání šlapacího letadla [5] .....	38
Obrázek 30 Gossamer Penguin ve zkušebním letu [34] .....	48



## 12 SEZNAM GRAFŮ

- Graf č. 1 Závislost změny štíhlosti na čase [vlastní zpracování]
- Graf č. 2 Závislost změny štíhlosti křídla kluzáků na čase [vlastní zpracování]
- Graf č. 3 Závislost změny prázdné hmotnosti na čase [vlastní zpracování]
- Graf č. 4 Závislost změny vzletové hmotnosti na čase [vlastní zpracování]
- Graf č. 5 Závislost změny plošného zatížení na čase [vlastní zpracování]
- Graf č. 6 Závislost změny vzdálenosti na čase [vlastní zpracování]

## 13 SEZNAM TABULEK

- Tab. 1 První Kremerova cena [vlastní zpracování]
- Tab. 2 Druhá Kremerova cena [vlastní zpracování]
- Tab. 3 Rekord na uzavřené trati [vlastní zpracování]
- Tab. 4 Rekord na přímé trati [vlastní zpracování]
- Tab. 5 Rekord na přímé trati [vlastní zpracování]

## **14 PŘÍLOHY**

Příloha 1      Přehled letadel poháněných lidskou silou se všemi parametry

Vzletová hmotnost [kg]	Plošné zatížení [kg/m <sup>2</sup> ]	Materiál	Konstrukce křídla	Trup	Posed	Pozice vrtule	Typ vrtule	Způsob řízení/zatáčení	První let Datum	Vzdálenost [m]	Konstruktér	Země původu
160	67.70803	smrk	A	Konvenční	Vleže	křídlo	tažná	spoilery	19.4.1936		Enea Bossi	Itálie
121	42.58911	smrk	A	Konvenční	Vleže	pylon	tlačná	křídélka	9.11.1961		Marsden a spol	Southampton Univ. VB
127	40.52616	smrk/balsa	A	Konvenční	Vzpříma	kýlová plocha	tlačná	křídélka	16.11.1961	908	Wimpenny/Van	Havilland VB
170	81.75	smrk	B	Konvenční	Vleže	předek	tažná	křídélka	17.5.1962	183	S.W.Vine	JAR
116	31.43536	smrk/balsa	A	Konvenční	Vzpříma	kýlová plocha	tlačná	křídélka	27.8.1965	800	Wimpenny/Van	Havilland VB
113	42.79613	smrk/balsa	A	Konvenční	Vleže	kýlová plocha	tlačná	křídélka	26.2.1966	43	Prof. Kimura	Nihon University Japonsko
110	41.50385	smrk/balsa	A	Konvenční	Vzpříma	kýlová plocha	tlačná	křídélka	19.2.1967	91.5	Kimura a spol	Nihon University Japonsko
108	35.08212	smrk/balsa	A	Konvenční	Vzpříma	kýlová plocha	tlačná	křídélka	26.3.1970	31	Kimura a spol	Nihon University Japonsko
118	38.33858	smrk/balsa	A	Konvenční	Vzpříma	kýlová plocha	tlačná	křídélka	13.3.1971	60	Kimura a spol	Nihon University Japonsko

Vzletová hmotnost [kg]	Plošné zatížení [kg/m <sup>2</sup> ]	Material	Konstrukce křídla	Trup	Posed	Polze vrtule	Typ vrtule	Zpis obřizení/zatažení	První let		Vzdálenost [m]	Konstruktér	Země původu
									Datum				
129	45.47234	smrk/balsa	A	Konvenční	Vzpřina	pylon	tláčná	křidélka	9.2.1972		1070	Chris Roper	Woodford Essex VB
239	42.09318	smrk/balsa	A	Konvenční	Vzpřina	kylová plocha	tláčná	křidélka	23.12.1972		640	Pressnell a spol	Handley Page Ltd. VB
129	23.42138	smrk/balsa	A	Konvenční	Vzpřina	předek	tažná	křidélka	27.5.1974		1000	Maurice Hurel	Francie
106	52.62966	smrk/balsa	A	Konvenční	Vzpřina	pylon	tláčná	křidélka	28.5.1975			Roger Hardy	Prestwick Skotsko
127	59.32714	smrk/balsa	C	Konvenční	Vzpřina	pylon	tláčná	křidélka	12.3.1976		595	J. Ishii a spol	Nihon University Japonsko
68	23.00276	smrk/břiza/balsa	A	Trubkovitý	Vzpřina	za pilotní kabinou	tláčná	směrovka	21.4.1976			Joseph Zimmo	Kingstown R.I. USA
99	46.21211	smrk/balsa	C	Konvenční	Vzpřina	pylon	tláčná	křidélka	24.11.1976		2100	J. Ishii a spol	Nihon University Japonsko
239	36.23787	smrk/balsa	C	Konvenční	Vzpřina	kylová plocha	tláčná	křidélka	2.9.1978		457	Pressnell a spol	Radlett Herts VB
		smrk/pěna	C	Trubkovitý	Vleže	pylon	tláčná	křidélka	15.6.1979		91	Wayne T. Blesner	Seattle USA
139	24.31917	smrk/balsa	C	Dvojitý trubkovitý	Vzpřina	pylons	tláčná	výškovka	5.11.1979			Nick Goodhart	Newbury Berks VB
		smrk/pěna	C	Trubkovitý	Vzpřina	předek	tažná	křidélka	2.6.1980			Wayne T. Blesner	Seattle USA
		smrk/pěna	C	Trubkovitý	Vleže	pylon	tláčná	křidélka	3.8.1981		275	Wayne T. Blesner	Seattle USA

Vzletová hmotnosť [kg]	Plošné zaťaženie [kg/m <sup>2</sup> ]	Materiál	Konstrukce křídla	Trup	Posed	Pozice vrtule	Typ vrtule	Způsob řízení/zatažení	První let Datum	Vzdálenost [m]	Konstruktor	Země původu
114	39.98451	Dural	C	Dvojitý trubkový	Vleže	za pilotní kabinou	tlačná	různé	13.11.1967	350	Josef Malliga	Rakousko
144	31.35385	Dural	C	Konvenční	Vleže	kýlová plocha	tlačná	ohyb křídla	18.9.1971		Phil Green a spol	Weybridge U.K
106		Dural	C	Trubkový	0	pylon	tlačná		1.4.1976		Ron Phillips	Humberside VB
95	14.03067	Dural	B	Kachní typ	Vleže	za pilotní kabinou	tlačná	kroucení křídla	26.12.1976	2500	Paul MacCready	California USA
132	56.30087	Dural	C	Trubkový	Vzpříma	za pilotní kabinou	tlačná	směrovka	1.8.1977		Taras Kiceniuk	California USA
105	14.86674	Dural	B	Konvenční	Vleže	předek	tažná	směrovka +kroucení křídla	5.6.1979		Parks/Youngren a spol	MIT USA
94	55.84268	Dural	B	Trubkový	Vzpříma	předek	tažná	kroucení křídla	14.8.1983		Drela a spol	MIT USA
96	56.97232	Dural	B	Trubkový	Vleže	předek	tažná	křídélka	2.9.1983	1500	Drela a spol	MIT USA

Vzletová hmotnosť [kg]	Plošné zaťaženie [kg/m <sup>2</sup> ]	Material	Konštrukce křídla	Trup	Poseď	Pozice vrtule	Typ vrtule	Zpis obřizení/zatačení	První let		Vzdálenost [m]	Konstruktér	Země původu
									Datum				
104	22.5554	Kompozit	C	Konvenční	Vleže	kylová plocha	tačná	směrovka	1.2.1972		275	Peter Wright	Nottingham VB
102	55.65813	Kompozit	C	Konvenční	Vzpříma	pylon	tačná	křídélka	11.3.1978		1200	Naito a spol.	Nihon University Japonsko
88	18.57044	Kompozit	B	Kachní typ	Vzpříma	za pilotní kabinou	tačná	kroucení křídla	1.7.1978		35000	Paul MacCready	California USA
97	25.47584	Kompozit	B	Dvojité trubkový	Vzpříma	za pilotní kabinou	tačná	křídélka	21.12.1981		590	Naito a spol.	Nihon University Japonsko
124	40.45403	Kompozit	C	Trubkový	Vleže	pylon	tačná	křídélka	4.5.1982			Wayne T. Bliesner	Seattle USA
113	78.08276	Kompozit	C	Trubkový	Vleže	pylon	tačná		1.6.1982			Huter/Vilinger/Schle	Německo
90	20.84914	Kompozit	B	Dvojité trubkový	Vleže	za pilotní kabinou	tačná	směrovka	16.10.1982		2600	Naito a spol.	Nihon University Japonsko
124	65.36044	Kompozit	C	Trubkový	Vleže	předek	tažná	křídélka	5.6.1983			Wayne T. Bliesner	Seattle USA
96	68.11908	Kompozit	C	Trubkový	Vleže	za pilotní kabinou	tažná	křídélka	20.8.1983		1500	Paul MacCready	California USA
99	14.70385	Kompozit	A	Trubkový	Vzpříma	předek	tažná	směrovka	1.12.1983		1000	Horlacher/Mohlin/Dubs	Švýcarsko

Vzletová hmotnost [kg]	Plošné zatížení [kg/m <sup>2</sup> ]	Materiál	Konstrukce křídla	Trup	Posed	Pozice vrtule	Typ vrtule	Způsob řízení/zatáčení	První let Datum	Vzdálenost [m]	Konstruktér	Země původu
82	49.96398	Kompozit	A	Trubkový	Vzpříma	za ocasnými plochami	tlačná	křídélka	1.5.1984	1500	Schober/Rochelt	Munich Německo
105	52.08466	Kompozit	A			předek	tažná	směrovka	1.5.1985	800	Horlacher/Mohlin/Frank	Švýcarsko
78	61.70806	Kompozit	C	Trubkový	Vleže	za ocasnými	tlačná	křídélka	1.9.1985	1500	Schober/Rochelt	Munich Německo
124	65.36044	Kompozit	C	Trubkový	Vleže	za pilotní kabinou	tlačná	křídélka	7.6.1985		Wayne T. Blesner	Seattle USA
105	33.17204	Kompozit	A	Trubkový	Vleže	předek	tažná	moving tips	1.10.1986	59000	Drela a spol	MIT USA
115	59.28596	Kompozit	C	Konvenční	Vleže	pylon	tlačná	křídélka			Naito a spol	Nihon University Japonsko
114	58.82128	Kompozit	C	Trubkový	Vleže	pylon	tlačná	křídélka			Naito a spol	Nihon University Japonsko
115	36.53269	Kompozit	A	Trubkový	Vleže	předek	tažná	směrovka	1.11.1987		Drela a spol	MIT USA
115	36.53269	Kompozit	C	Trubkový	Vleže	předek	tažná	směrovka	1.3.1988	119000	Drela a spol	MIT USA
99	58.93477	Kompozit	C	Trubkový	Vleže	za ocasnými plochami	tlačná	křídélka	9.8.1988	3100	Peer Frank	Stuttgart Německo
94	54.28877	Kompozit	C	Trubkový	Vleže	za ocasnými plochami	tlačná	kroucení křídla	24.9.1989	3100	Peer Frank	Stuttgart Německo
98	42.21957	Kompozit	C	Trubkový	Vleže	za ocasnými plochami	tlačná	návání křídél	20.7.1990		John McIntyre	Cambridge VB