

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta strojní – Ústav letadlové techniky**



**BAKALÁRSKÁ PRÁCE**

**Trendy ve vývoji cvičných letadel**

Trends in Training Aircraft Evolution

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně s použitím literárních pramenů a informací, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů.

Datum: .....

podpis

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Shtro** Jméno: **Ekaterina** Osobní číslo: **437073**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav letadlové techniky**  
Studijní program: **Teoretický základ strojího inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Trendy ve vývoji cvičných letadel**

Název bakalářské práce anglicky:

**Trends in Training Aircraft Evolution**

Pokyny pro vypracování:

Pro vypracování proveďte:

- 1) Rešerši cvičných letadel
- 2) Vyhodnoťte trendy ve vývoji cvičných letadel
- 3) Navrhněte požadavky na parametry pro nový cvičný letoun

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:


**Ing. Jiří Brabec Ph.D., ústav letadlové techniky FS**

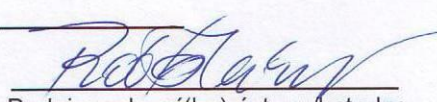
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:


Datum zadání bakalářské práce: **28.04.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **07.08.2017**

Platnost zadání bakalářské práce:

  
Podpis vedoucí(ho) práce


  
Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

28.4.2017  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studentky

## **PODĚKOVÁNÍ**

Touto cestou bych ráda poděkovala mému školitelovi Ing. Jiřímu Brabci, Ph.D. za pomoc, odborné vedení, cenné rady a připomínky při vypracování méji bakalářské práce.

# Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je navrhnout parametry pro nový cvičný letoun. Letoun je navržen dle předložených už existujícího ultralightu UL-39 Albi a prototypu zlepšené verze UL-39 Albi II. První část práce se zabývá vývojem a statistikou letadel od jejich počátku až do současnosti. Další kapitola je věnovaná trendům cvičných letadel. V ní provádíme analýzu vlastností některých důležitých parametrů a jejich změn. V třetí kapitole se budeme zabývat návrhem cvičného letounu a vycházet ze známých parametru už existujícího UL-39 Albi a jeho prototypu UL-39 Albi II.

## Klíčové slova:

Letectví, letadlo, cvičný letoun, vývoj, konstruktér, návrhář, aerodynamika, křídla, motor, materiál.

# **Abstract**

The aim of this bachelor work is to design parameters for a new trainer aircraft. The base for this work are technical data's from existing ultra light plane UL-39 Albi and the prototype of its upgraded version UL-39 Albi II. The first chapter of the work is showing us the statistics and development of planes from the beginning of aviation to the present day. The next chapter is showing us the trends in trainer aircrafts development. There we are making the analyse of some important technical parameters and their changes. At the last chapter we are making the design of trainer aircraft which is based on already existed ultra light plane UL-39 and ins prototypes UL-39 Albi II.

## **Key words:**

Aviation, aircraft, trainer aircraft, development, design engineer, designer, aerodynamics, the wing of the plane, engine, material.

# Obsah

Abstrakt.....	5
Abstract.....	6
1.Úvod.....	8
2. Rešerše cvičných letadel.....	9
2.1 Historický vývoj leteckých konstrukcí.....	9
2.1.1 První letadla.....	9
2.1.2 Spojení zkušenosti evropských a amerických leteckých konstruktérů. Úspěchy leteckého průmyslu ke konci druhého desetiletí dvacátého století. ....	11
2.1.3 Třicátá léta – zlatý věk .....	17
2.1.4 Období druhé světové války.....	17
2.1.5 Období od druhé světové války po současnost.....	19
2.2 Statistika.....	21
2.2.1 Použití moderních materiálů pro stavbu cvičných letadel.....	21
2.2.2 Vývoj leteckých motorů. ....	23
3. Trendy ve vývoji cvičných letadel.....	28
4. Návrh požadavků pro nový cvičný letoun .....	35
5.Závěr .....	40
Seznam použitých značek a symbolů .....	41
Seznam použité literatury a zdrojů .....	42
Seznam grafů a tabulek.....	45
Seznam příloh .....	46
Příloha č.1 .....	47

# 1.Úvod

Člověk je úžasný tvor. Jako jediný z živočišné říše dokáže měnit prostředí kolem sebe ve svůj prospěch, dokáže stavět, konstruovat a kreativně myslet. Za pomoci rozumu a usilovné práci si dokáže plnit svoje sny. Především se mu podařilo splnit si odvěký sen o létání a tím napodobit jiné představitelé živočišné říše ptáky. Svojím umem, neustálím hloubáním, pokusy a odvahou dokázal zkonstruovat stroje, které překonali silu gravitace.

Prvenství v oblasti vzduchoplavby bezesporu patří bratrům Montgolierovym, kteří využili fyzikálně zákony Archiméda v praxi a zkonstruovali první balon. Stroj kterým se člověk poprvé vznesl k oblakům v roce 1783. To ale nestačilo, lidská natura je neklidná. Málo kdy se spokojí s tím co má a co dosáhla, neustále chce víc. Po slavných francouzech se objevilo velké množství lidí, kteří nechtěli jen plachtit ve vzduchu s pohybem vetru. Chtěli sami kontrolovat svůj let a tím se ještě víc přiblížit ptákům. Svůj ambiciózní cíl se snažili dosáhnout různými konstrukcemi a návrhy, které neustále zdokonalovali aby mohli létat dál, rychleji a výš. Během následujících let se naučili řídit let balonu za pomoci motoru a vrtule. Následně sestrojili první funkční napodobeniny ptačích křídel. Pochopili jak zkonstruovat křídlo aby různá rychlost obtékání vzduchu pod a nad křídlem způsobila jeho stoupání vzhůru. Po spojení prvních strojů s křídly a motoru de facto vznikli první letadla. Třeba bylo ale ještě počkat následující 120 let aby další slavná dvojice bratru, Wrightove v 1903 roku dokázali, že člověk je schopný řízeného letu na stroji těžším než vzduch. Po nich přicházeli stále novy konstruktéři, kteří sestrojovali dokonalejší letouny, překonávali složité technické překážky a posouvali hranice letectví. Díky těmto odvážným lidem, kteří na začátku minulého století riskovali své životy v méně pokroku, létajíc na chatrných dřeveno- plátěných strojích máme dnes celý svět v dosahu. Díky nim, dnes když se chceme dostat na druhý konec zeměkoule nemusíme trávit týdny nebo měsíce na palubách lodi brázdících světové oceány. Stačí nasednout do letadla a během několika hodin se přesuneme na kterékoliv místo na zemi. Rozšíří se naše možnosti, můžeme poznávat svět, navštěvovat příbuzné a známe za oceánem nebo létat jen tak pro radost. Díky vynalezu letadel se svět stal menším, ale neméně fascinujícím. Kdyby první letci viděli dnešní rušná letiště, a obrovské létající stroje, které neustále plují po obloze asi by neuvěřili, že je to všechno jejich zásluha.

Lidstvo díky průlomovým vědeckým objevům, inovativním leteckým konstruktérům, ale především díky odvaze průkopníku letectví se dokázalo odtrhnout od země. Díky úžasnému lidského intelektu, který nás žene stále dal kupředu, rychleji a výš jsme se z obyčejných suchozemských savců stali prvními tvory schopnými opustit naší domovskou planetu.



## 2. Rešerše cvičných letadel

### 2.1 Historický vývoj leteckých konstrukcí

#### 2.1.1 První letadla

Pravděpodobně už první lidé, kteří kráčeli po této zemi snili o létání. Pozorovali přírodu, po obloze plachtící ptáky a uvědomili si, že k letu budou potřebovat křídla. Nejstarší báje a myty zmiňují starověké hrdiny, kteří se vznášeli po obloze po připevnění na své tělo replik ptačích křídel. Příkladem muže byt Ikarus z řecké mýologie. Více podnikavý jedinci, kterým poslušání legend nestačilo se pokusili svůj sen realizovat. Návod se zdál byt prostý - je třeba vyrobit umělé křídla podobné ptačím, připevnit je na ruce, imitovat setrvačný pohyb ptáků a vznést se do vzduchu. Materiály pro výrobu křídel: tyče, pasy, peri - byly dostupné dávnému člověku. Předpokládá se, že ještě před našim letopočtem se odvážní jedinci pokoušeli tímto způsobem vznést do vzduchu. První písemné svědectvím o zkouškách umělých křídel se nachází v Čínském rukopisu "Chan-šu" ("Dějiny dynastie Chan"), který popisuje dějiny Číny v letech 206 př. n. l. – 25. n. l.<sup>1</sup>

Pokusy vzlétnout ze země při pomoci umělých křídel nebyli úspěšné proto se brzy přišlo s nápadem skočit z výšky a plachtit. Takové pokusy byly popsány v mnohých kronikách. Ku příkladu v arabských státech (Ben Firans, kolem 875 rok<sup>2</sup>, Al-Džauchari, 1003 rok<sup>3</sup>), v Anglii (Elimer, začátek XI století)<sup>4</sup>, v Byzanci (1162 rok)<sup>5</sup>. Existuje dokonce zmínka o použití umělých křídel u Slovanu - V rukopisech Danijila Zatočnika (XIII století) se objevuje: "*Jedni, naskočí na koně, skáčou po kolbišti, riskují životem, a jiní slétají z kostela nebo vysokého domu na hedvábných křídlech...*"<sup>6</sup>

Nicméně všechny pokusy vzlétnout za pomoci umělých křídel a udržovat řízený let byly málo úspěšné až do devatenáctého století. Roku 1908 existovali dva stroje: ornitoptér Voisine a jednoplošník Blerio-8, které byly schopné více méně trvalého letu. Nedalo se ale ještě mluvit o úspěšných letadlech. Měli komplikované a málo efektivní řízení, dalo se na nich létat jen za úplného bezvětří, zatáčet se dalo jenom bez obratu a na velkém průměru, dosahovali jenom minimální výšky.

Zdá se být velmi překvapivé, že tak dlouho se nepodařilo provozuschopné letadlo vynalézt. Navzdory tomu, že mnohokrát byly vypsány odměny pro úspěšného vynálezce, který kromě ni by získal celosvětovou slávu. I když byly vynalezené relativně lehké a výkonné vznětové motory, vývoj letadel byl pomalejší, než mohlo by se dalo očekávat. Bylo pro to několik důvodů:

a) ze všech evropských států jen ve Francii se dost aktivně pracovalo nad vývojem letadla. V jiných vyspělých státech se pozornost soustřeďovala na vývoj řízené

<sup>1</sup> NEEDMAN J. *Science and civilisation in China*. Cambridge, 1965.

<sup>2</sup> *Library of Congress*. J. Chapman Collection.

<sup>3</sup> SARKUS J.E. *Dictionnaire encyclopedique de bibliographie Arabe*. Kairo, 1930. Vol. 11.

<sup>4</sup> WILLIAM OF MALMESBURY. *Chronicle of the King of England*. London, 1847. Bk. 2.

<sup>5</sup> HART C. *The dream of flight. Aeronautics from Classical Times to the Renaissance*. London, 1972.

<sup>6</sup> *Памятники древней письменности*. Т. 31. Санкт-Петербург, 1889.

vzduchoplavby (balóny a vzducholodě) a někteří nadšenci dynamického letu se nepotkali s pochopením.

b) Průkopníci letectví ve Francii jednali dle metody pokusu a omylu. Tento princip byl možná běžný v devatenáctém století ale do dvacátého století se už nehodil, protože už bylo získaných spousta poznatků ve sféře konstruování letadel. V důsledku aplikování zmíněné metody bylo hodně sil, prostředků a času zbytečně vynaložených, na vývoj očividně nepraktických konstrukcí.

c) Vládnoucí mezi evropskými konstruktéry pohled na letadlo, jak na auto s křídly, zapříčinil, že většina z nich nemela žádné zkušenosti z kluzovým letem a ani se nepokoušela si nejdřív osvojit let na kluzáku. Za nedůležitější považovali umístění na letadlo motoru, vygenerování tahu a řízením pohybu letadla se už moc nezabývali. Podcenění problematiky řízení mělo za následek to, že víc jak polovina letadel a kluzáku v letech 1904-1907 neměli prostředky příčného (horizontálního) řízení.

d) První evropské letadla byli zkoušeni z pravidla lidmi, kteří neměly žádné letecké zkušenosti a proto není překvapením, že zkušební lety se často končili nehodou. Nejvíce leteckých nehod se odehrálo při přistání. Nehody sebou přiváděly potřebu neustálých oprav, které zpomalovaly provádění pokusů. Na druhé straně ale musíme přiznat, že navzdory tím všem brzdícím faktorům nejlepší francouzské letadlo v 1908 roku měla řadu konstrukčních prvků kterými převyšovala "Wright flyer" bratrů Wrightů. Díky dobrým motorům a pevnému kolovému podvozku evropské letadlo byly schopné k samostatnému vzletu (bez pomoci katapulty). Statická stabilita letounu, sedící poloha pilota a snadnější systém řízení usnadňovali pilotování.

V letech 1903-1904 letečtí konstruktéři vynalezli několik technologických novinek, které přispěli k vylepšení letových vlastností. Byl zkonstruován první funkční jednoplošník s tažnými vrtuli, aileron - křídélko pro nízké a vysoké rychlosti a funkční řídicí systém.

Na začátku dvacátého století mezi leteckými konstruktéry převládali dva směry. První reprezentovali významní evropští vývojáři Voisen, Blerio, Ferber a jiní. Druhý reprezentovali bratři Wrightové. Letadla jedné i druhé školy měli své výhody a nevýhody ale slavní bratři ze Spojených Států byli těmi, kteří 17 prosince 1903 roku uskutečnily první skutečný let. Samotný let trval sice jenom 12 sekund a letadlo Wright Flyer přeletělo 37 metrů. Ale už roku 1909 s dvoumístným letadlem schopným hodinového letu s rychlostí 40 km/h vyhráli první výběrové řízení na dodávku pozorovacích letadel pro armádu Spojených Států.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> СОБОЛЕВ Д.А. *История самолетов. Начальный период*. Москва: Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 1995. 177-178 с. ISBN 5-86004-023-7.

## 2.1.2 Spojení zkušenosti evropských a amerických leteckých konstruktérů. Úspěchy leteckého průmyslu ke konci druhého desetiletí dvacátého století.

Po ukončení pokusu letadla "Wright Flyer III" Wilburg a Oliver Wright předpokládali, že v nejbližší období se nebudou muset obávat konkurence ze strany jiných leteckých konstruktérů. V říjnu 1906 r. v když Octave Chanut chtěl zakoupit letadlo bratru Wrightu a domáhal se snížení ceny Wilburg Wright mu odmítavě odpověděl: „*Jsme si jisti, že za nejbližší 5 let nikdo nebude moct vytvořit praktické letadlo*“.<sup>8</sup> Wilburg se ale mýlil. Brzy Gabriel Voisen a jiní evropští konstruktéři vyvinuli svoje prototypy. Wilburgovou jistotou také otrásla aktivita jeho spoluobčanů. V 1907 roce byla v USA pod vedením populárního vynálezce Alexandra Bella založena Asociace experimentálního letectví (AEL). K ní patřili F. Baldwin, T. Selfridge a řada jiných entuziastů dynamického letu. V 1908 r. členové AEL postavili 4 letadla. Všechny byly dvojplošníky, připomínající letouny Voisena, ale bez svislých vzpěr a s aileróny vzorovanými na otáčivých koncích Blériota. V březnu 1908 r. Baldwin na letadle "Red Wing" překonal ve vzduchu 100 m, v květnu "Red Wing" provedl let o délce 300m. Na začátku července Curtiss letadlem "John Bug" proletěl po přímce 1550m a vyhrál cenu časopisu "Scientific American" za první v USA veřejný let delší než 1 km.<sup>9</sup>

Na konci prvního desetiletí dvacátého století letadlo už nebylo „výmyslem šilence“, ale realitou. Neovladatelné skokany vystřídali letouny schopné manévrování ve vzduchu a dlouhých letů. Etapa vytváření letadla se skončila, začala se etapa vývoje v podmínkách praktického využití a sériové výroby.<sup>10</sup>

Na začátku 1910 r. na světě bylo postaveno kolem 80 různých letadel. Některé z nich byly natolik úspěšné, že sloužili jako vzor pro další léta. Všechny měly dřevěný trup a plátěný povrch, vnější zesilující křídlo bylo součástí vzpěrné konstrukce, dále měli podvozek pro vzlet a přistání, pro řízení se používaly aerodynamické volanty a aileróny. Na některých letadlech ("Blerio-11", "Santos-Dumont-20", "Etrich-1", "Wright-A") byl mechanismus zakřivení křídla pro příčné ovládní. Pohon tvořili spalovací motory o výkonnosti 25-50 k.s. Vzletová váha letounu byla od 200 kg do 550 kg, a mohli unést jednoho až dva lidi a létat s rychlostí 60 km/h.

I když na začátku existovala velká různorodost jednotlivých druhů a koncepcí letadel. V 1910 r. ve výrobě letadel existovali dva hlavních směry: jednomístní jednoplošníky s trupem, ocasní plochou a tažní vrtuli a dvomístní dvouplošníky bez trupu, s tažní vrtuli a umístěným před křídlem výškovým kormidlem. V druhém desetiletí dvacátého století nejvíce populárním druhem dvouplošníku byl stroj francouzského konstruktéra Luise Blériota s názvem Blerio-11. Přelet na tomto letounu přes Lamanšský průliv mu přinesl světovou slávu. Letadlo se začalo vyrábět sériově. Bylo populární ve Francii i v zahraničí. V některých státech byla zahájena licenční výroba. V Rusku v 1910 r.

<sup>8</sup> *The papers of Wilbur and Orville Wright*. New-York -Toronto - London, 1953.

<sup>9</sup> СОБОЛЕВ Д.А. *История самолетов. Начальный период*. Москва: Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 1995. 177-178 s. ISBN 5-86004-023-7.

<sup>10</sup> СОБОЛЕВ Д.А. *История самолетов. Начальный период*. Москва: Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 1995. 183 s. ISBN 5-86004-023-7.

bylo vyrobeno 5 exemplářů "Blerio-11" v závodě Prvního Ruského družstva vzduchoplavby v Petrohrade pod jménem "Rossija-B".<sup>11</sup>

Zvláštní místo mezi prvních jednoplošníky zabírají letadla ze série "Taube". Igo Etrich čerpal inspiraci pro návrh konstrukce křídla svého letadla z práce německého botanika profesora Friedricha Ahlborna z 1897, která pojednávala o rostlině *Zanonia macrocarpa*. Semena tyto rostliny díky svému jedinečnému tvaru mohou plachtit vzduchem na velké vzdálenosti. Po zkušenosti s bezocasým kluzákem rakouský konstruktér Igo Etrich vyrobil sérii jednoplošníků s tažní vrtulí a ocasní plochou za křídlem. To byly první úspěšné letadla v Rakousko-Uhersku. Měli specifický tvar křídel s zahnutými konci do zadu a ocasní plocha se podobala ocasu ptáka. Letadlo svým tvarem připomínalo plachtícího ptáka. Křídlo mělo velmi tenký profil. Mělo dva vnitřní nosníky a (ve většině typu) opěrný vnější nosník z podpěrami pod křídlem. Stroj se řídilo tak, že se za pomoci ocelových lanek ohnulo elastické koncovky křídel a ocasních ploch. Výroba letadel systému Taube se rozšířila po 1910 roku. Dalším úspěšným letounem ze série letadel Taube byl jednoplošník Etrich-2. Stal se populární po úspěšném letu K. Ilnera na letecké soutěži ve Vídni a v Budapešti.<sup>12</sup> Letadlo postavili v Rakousko-Uhersku firmy "Etrich" a "Loner". Letoun se prodával především v Rakousku a Německu. Na letadlo montovali těžké spalovací motory s chladicím systémem. To způsobovalo jejich velkou váhu, která komplikovala vzlet. Kvůli zvláštnímu tvaru křídla letadla Taube se vyznačovali dobrou rovnováhou - křídla s zahnutými konci do zadu měly menší (než centrován) uhel náběhu a měly funkci stabilizátoru. Zmíněné vlastnosti způsobily velkou popularitu letadel. Nicméně při zvýšení rychlosti se ukázala nevýhoda Tuabe, velký odpor prostředí. Těsně před I. světovou válkou německé letecké firmy zkoušeli vylepšit trup letadla Tuabe. Odstranily vnější podélnou nosnou část trupu a motor obstavěli krytém. Tyto vylepšení moc nepomohli. Na začátku první světové války letadlo nemělo požadovanou rychlost a bylo pomalejší, než jiné jednoplošníky a dvouplošníky.<sup>13</sup>

Materiály, používané při výrobě letadel v letech 1910-1914 se moc nezměnily. Základním materiálem pro konstrukci zůstávalo dřevo a plátno. Bambus, který byl používán jen na některých letadlech (např. Santos-Dumont-19,-20) se přestal využívat kvůli své křehkosti a taky proto, že jednotlivé bambusové komponenty se obtížně mezi sebou spojovali. Většina konstruovaných součástí letadla: podélná nosná část trupu, žebra, podvozek se vyráběla ze sosny. Jasan se používal při výrobě ohnutých součástí. Zřídka se objevovala lípa a dřevo amerického ořechu (ořechovce). Pro obtahování povrchu křídel a trupu se používalo bavlněné plátno, s názvem Perkal (franc. *percale*), nebo lněná látka. Přibližně do 1911 roku, podobně jako u balónů a vzducholodí, látku gumovali. Ale kvůli tomu, že natažení tohoto materiálu se měnilo pod vlivem teploty, začali hledat nové prostředky ochrany proti vlhkosti. Nejlepším řešením se ukázalo použití laku Emalit (roztok celulózy v acetonu), který zajišťoval odolnost proti vlhkosti a dobré natažení pláště. Na místo plátna občas používali dýhu jako obklad trupu, kterého vnitřní část byla zkonstruována z samonosné trubkové konstrukce. Dýha se zřídka používala jako obklad křídel. Ocel byla využívána hlavně v konstrukci podvozku, spojovacích uzlech

<sup>11</sup> ШАВРОВ В.Б. *История конструкции самолетов в СССР до 1938 г.* Москва: Машиностроение, 1978.

<sup>12</sup> СМІРНОВ І. *Моноплан "Етрих 1910" // Вестник воздухоплавания.* 1910. 15. С. 11-13.

<sup>13</sup> СОБОЛЕВ Д.А. *История самолетов. Начальный период.* Москва: Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 1995. 190-192 с. ISBN 5-86004-023-7.

křídel a trupu. Z ocelového drátů se dělali výztuhy a řídicí lanka. Občas při výrobě složitých tvaru (kryt motoru, vrtule) se používaly ocelové platy. V 1909 r. Alfred Wilm (Německo) vynalezl slitinu hliníku - duralumin, která měla vyšší pevnost, ale kvůli tomu, že v toto období nebyly její technologie obrábění a vlastnosti prozkoumány, do I. světové války jí nevyužívali ve výrobě letadel. V roli základního konstrukčního materiálu, kov se využíval zřídka. Na začátku XX století kovové materiály, které byly k dispozici, neměly velkou pevnost, a jejich použití zvětšovalo váhu konstrukce. Kromě toho k použití kovu by bylo třeba úplné reorganizace technologie výroby letadel, která vycházela ze dřevařského průmyslu. Jen v Německu se rozšiřovala produkce letadel s trupem z ocelového O-profilů, protože německé firmy už měly zkušenost s použitím kovu ve výrobě vzducholodí.<sup>14</sup>

První experimentální celokovové letadla, se objevili v roce 1910. Byly to jednoplošník Hansa Jacoba Reissnera (Německo) a Wight&Thompson No.1 Seaplane (Velká Británie). Lišili se aerodynamickým schématem, ale byly skoro stejně zkonstruované z kovu. Vnitřní kostra křídla a trupu byla vyrobená z oceli, a plášť z hliníku. Výjimečným letounem byl jednoplošník Moisent, který byl celý vyroben z hliníku. Používal se jak hladký plášť křídla tak vlnité pláště (Reissner, Moisent). Vlnité pláště pomáhali zvládat odpor vzduchu. Vlny také umožňovali zvětšit tuhost křídla bez zásadní zvětšení váhy a proto taká konstrukce se v pozdějším období stala velice rozšířenou ve výrobě letadel. Nicméně před druhou světovou válkou se kovové letadla moc neuplatnili. Zkoušky většiny prototypů byly neúspěšné. Dokonce i při využití vnějších upevňujících elementů křídla váha letounu byla na tolik velká, že letadla jen velice těžce vzlétali (Moisent, Wight&Thompson No.1 Seaplane), nebo měly špatné letové vlastnosti. Příčinou toho byly neexistence v tom období kovových materiálu s velkou tržnou délkou. Období celokovových letadel ještě nenastalo.<sup>15</sup>

Den 27 srpna 1913 roku byl významným dnem pro leteckou akrobatiku. Na Syreckém letišti v Kyjeve vojenský pilot poručík Něstěrov na Nieuportě, který postavil ruský závod "Duke" udělal poprvé smyčku letadlem (tzv. *smyčka Něstěrova* nebo také *smyčku smrti*). Pilot vzletěl na výšku 1000 metrů, vypnul motor a začal prudce plachtit dolů, skoro svisle. Když byl na 600 metrech získal už velkou rychlost v tom momentě zapnul motor, začal vyrovnávat letoun, najednou prudce zvedl příď nahoru a letadlem udělal kolečko (smyčku). Dle slov Něstěrova celý let proběhnul normálně. Díky obrovské odstředivé síle, která byla dosažena, vše zůstalo na místě a stroj pracoval, jak při obyčejném letu. Bez ohledu na to, že palivová nádrž a sám pilot byli nějaký čas nohama vzhůru, nepřerušilo se podávání paliva, motor fungoval normálně, zařízení a nástroje nevypadli a sám pilot necítil naval krve do hlavy nebo hrozbu vypadnutí ze sedačky.

Ovládnutí akrobatických figur a manévřů prokázalo, řečeno slovy Něstěrova, že "*ve vzduchu je pro letadlo všude záchytný bod*". Velmi rychle se změnil pohled veřejnosti a pilotu na možnosti letadel. Bylo prokázáno, že normální letoun bez speciálních úprav je schopný přijímat ve vzduchu libovolnou polohu. Nahoru: ocasem či nosem, koncem svisle stojícího křídla nebo podvozkem. Ve všech těchto polohách letoun neztrácí rovnováhu, a

---

<sup>14</sup> СОБОЛЕВ Д.А. *История самолетов. Начальный период*. Москва: Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 1995. 215-216 s. ISBN 5-86004-023-7.

<sup>15</sup> СОБОЛЕВ Д.А. *История самолетов. Начальный период*. Москва: Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 1995. 232 s. ISBN 5-86004-023-7.

zůstává ovladatelným. Krátce po Něstěrovovém letu se vzdušnou akrobacií začalo zabývat přes třicet pilotů, kteří začali dělat manévry před tím považované za smrtelné.<sup>16</sup>

Na začátku vývoje letectví bylo spíš považované za zajímavost případně sport a zábavu. Organizovalo se letecké poutě, soutěže a jiné společensko-zábavné akce. Postupně po vylepšení letadel se o ně začali zajímat i statní úřady, především armáda. Od 1910 roku se piloti začali zúčastňovat ve vojenských manévrech. V 1911 roku Itálie poprvé využila letadla v vojenských akcích proti Turecku v Tripolise. Následujícího roku skupina ruských pilotů se zúčastnila války Bulharska proti Turecku na straně bulharské armády. První bojové zkušenosti ukázali, že letadlo se dá využít k průzkumu a ruční granáty vyhazované z jeho paluby dolu na nepřítele, (i když málo přesné) měli zdrcující účinek na bojovou morálku pěšáku. Kromě toho, bylo zjištěno, že na letadlo má počasí menší vliv, než na vzducholoď. Tyhle poznatky stačili k tomu, aby se v armádách jednotlivých států začali formovat letecké oddíly. V 1912 r. byla vytvořena letecká armáda ve Francii. V 1913 roku se letecké oddíly objevily v armádách Německa, Ruska, Itálie, Velké Británie a Rakousko-Uherska. V stejném období ve Francii, Velké Británii, Německu a Rusku se začali formovat jednotky hydroplánu pro hlídání pořezi a spolupráci s válečným lidstvem.

Najednou na vývoj a výrobu letadel se začala utrácet značná suma peněz. Začalo se školení a příprava vojenských pilotů. Na začátku 1913 roku rozpočet na vojenské letectví činil v amerických Dolarech: ve Francii 7,4 milionů v Německu a Rusku – 5 mil., ve Velké Británii 3 mil. v Itálii 2,1 mil. Celkový počet vojenských letadel byl kolem 1000 kusů. Letectví čistě sportovní záležitost našlo široké vojenské využití. Prvními letadly používanými v armádě byli sportovní letouny, které se vyznačovali dobrými letovými vlastnostmi a osvědčili se v praxi (Blerio-11, Taube, Nieuport). Před první světovou válkou se některá letadla začala vyzbrojovat. Byly to hlavně stroje, které měli zvýšenou nosnost, zesílený podvozek, možnost rychlého montování a demontování za účelem opravy nebo přepravy. Z pravidla, to byly dvoumístní dvouplošníky se vzletovou vahou kolem 1000 kg. (Farman H.F.20, Sikorskij-10). Nejlepší modely se vybírali na každoročních soutěžích vojenských letadel, které se prováděly v mnoha státech. V 1914 roku ve výzbroji ruské armády bylo čtyřmotorové letadlo Il'ja Muromec, které se vyznačovalo tehdy bezkonkurenční nosností a doletem.<sup>17</sup> V letech 1912-1913 se prováděly první pokusy s opancěrováním letadel, které mělo chránit před ostřelováním ze země. Brzy se ale ukázalo, že pancéřování je moc těžké a další práce v tomto směru byly zastavené.<sup>18</sup>

Na začátku námi opisovaného období se první vývojáři snažili zlepšovat konstrukci letadel a dokázat světu, že letadlo není jen „hračka“ ale plnohodnotný létající stroj, který je schopný delších řízených letů bez poruch. Letadla v tom čase měli výlučně sportovní využití. Přibližně v 1912 roku základní hybnou silou rozvoje letadel byl úkol vytvoření vojenského letectví. Objednavatelem se stává stát, a ne významné osobnosti nebo

---

<sup>16</sup> СОБОЛЕВ Д.А. *История самолетов. Начальный период*. Москва: Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 1995. 242 s. ISBN 5-86004-023-7.

<sup>17</sup> СОБОЛЕВ Д.А. *История самолетов. Начальный период*. Москва: Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 1995. 243 s. ISBN 5-86004-023-7.

<sup>18</sup> СОБОЛЕВ Д.А. *История самолетов. Начальный период*. Москва: Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 1995. 244 s. ISBN 5-86004-023-7.

filantropové, jak v prvních letech letectví. Do rozvoje nových leteckých konstrukcí se začali investovat značné peněžní sumy peněz.

Rychlý pokrok rozvoje letectví v letech 1910-1914 se dá vysvětlit rozvojem jiných průmyslových a vědeckých odvětví. První konstruktéři ochotně čerpali nápady z jiných oborů a vynálezy z různých odvětví techniky byly úspěšně aplikované při konstrukci letadel. Především široké využití zkušenosti a nápadu z transportní techniky napomohl rozvoji letectví. Automobilový průmysl dal letadlu motor, lehké ocelové kola s pneumatikou a technologii výroby ocelového O-profilu. Z konstrukce motorových lodí byl převzat dýhový plášť a vlhko odolný povlak. Ze vzducholodí se převzalo metody konstrukce trupu, upevnění motoru, vrtule a lehká kovová konstrukce.

V období 1910-1914 r. se začalo pomalí zavádět vědecké metody v projektování letadel. Poprvé teoretický průzkum ve sféře aerodynamiky křídla byly proveden ještě na začátku dvacátého století N.E. Žukovským a S.A. Čaplyginým v Rusku, V. Kuttou v Itálii, F. Lanchesterem v Anglii, L. Prandlem v Německu a některými jinými odborníky na mechaniku. Jenže kvůli čistě akademickému směru těchto průzkumů a náročnosti matematických výpočtů jejich výzkum nemel žádný vliv na výrobu letadel. Žák Žukovského V.V. Goluběv později psal: *"Do okamžiku stavby prvních letadel, na kterých byly provedené úspěšné lety, teoretická mechanika nemohla vnést skoro nic v oblasti projektování letadel; od obecných teorií víru, teorií proudů, teorie pohybu ideální a vazké tekutiny do jejich technických doplňků. Mezi teorií a praxí byla velká propast."* Úspěchy vědy se začali používat v návrhu letadel až po vzniku speciálních učebnic pro řešení konkrétních inženýrských úkolů. Vývoj vědecko-praktických příruček dopomohlo vzniku experimentálních center ve Francii, Velké Británii, Rusku, Německu a Itálii. Těsně před začátkem první světové války při výrobě letecké techniky se začaly používat analytické metody výpočtu, na zaklade údajů experimentálních vědeckých výzkumu, dovolující přibližně ocenit závislost mezi některými geometrickými a aerodynamickými parametry. Doopravdy hodně návrhářů tohoto období ignorovali dané vědy, důvěřujíc víc zkušenosti a intuici. Ale ani veda většinou nemohla odpovědět na otázky praktiku. Formování návrhů letadel, jako vědeckého oboru jen se začínalo.<sup>19</sup>

Hlavní technický úspěch byl v letectví dosazen v dvacátých letech minulého století, ve výrobě kovových letadel. Objeví se už za první světové války v Německu ale stali se celosvětově populární na konci dvacátých let. Nejvíce intenzivní byl jejich rozvoj v Německu ("Junkers", "Rohrbach", "Dornier") a v SSSR (Tupolev). V oněch státech kovy byl poprvé použité při výrobě letadel u jednoplošníku – tato schéma (kovový jednoplošník) se později stala základem vývoje letadel. Po válce vývoj letectví v zmíněných státech začínal v podstatě od začátku a zavedení principiálně nových přístupů ve vývoji letectví bylo lehčí, než ve státech s výkonným leteckým průmyslem, orientovaným na rozvoj modelů období I. světové války. Kov se začal používat také při výrobě vrtule. Pro období první světové války specifické dřevěné vrtule mohli vydržet zatížení jen několik stovek koňských sil. Když se ale výkonnost začala přibližovat k tisíci koňských sil a vrostli

---

<sup>19</sup> СОБОЛЕВ Д.А. *История самолетов. Начальный период*. Москва: Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 1995. 246 s. ISBN 5-86004-023-7.

otáčky motorů, pevnost dřeva byla nedostačující co mělo za následek časté poruchy vrtule.<sup>20</sup>

V polovině dvacátých let skončil poválečný utlum ve vývoji letadel. Výrazně vzrostl počet nových typů letadel. Významné průkopnické lety, hlavně, let bez mezipřistání, který provedl Charles Lindbergh z USA do Evropy v 1927 r. probudili někdejší zájem o letectví. Bohužel toto období netrvalo dlouho. V 1929 roku propukla světová ekonomická krize. Ekonomická deprese měla velký negativní vliv na vývoj letectví, především toho vojenského.<sup>21</sup>

Letecká věda, jak i letecká technika, v dvacátých letech se vyvíjela, především, ve směru upřesnění a pomalého zavedení do praxe vědeckých úspěchu období I. světové války. Jsou nimi především teorie odporu prostředí, teorie mezní vrstvy a teorie pevnosti. Teorie odporu prostředí byla vyvinuta německým vědcem aerodynamiky L. Prandlem v 1915-1917 r. Za války tato teorie nebyla populární. Po válce když úspěchy německých vědců se stali dědictvím světové vědy, měla velký vliv na návrhy letadel i jinde na světě.<sup>22</sup> Především byl zkoumán vzájemný poměr štíhlosti křídla a zvedací síly. Na základě prováděných pokusů se zjistilo, že použití tři nebo dvou křídel u letadla způsobuje příliš velký odpor vzduchu. Brzy se přestali konstruovat trojplošníky a dvojplošníky protože se ukázalo že nejefektivnější konfigurací křídel co se týče nosnosti disponují jednoplošníky.<sup>23</sup>

Výzkum vlastností a charakteristik profilů křídel se vedl v aerodynamických tunelech. Za války nejlepší aerodynamický tunel mel Göttingensém institutu (Německo). Tunel mel kulatý rez o průměru pracovní části 2,26 metrů a maximální rychlosti průtoku vzduchu 58 m/s.<sup>24</sup> Důležitou novinkou ve vývoji leteckého experimentálního stroje se stalo vytvoření aerodynamického tunelu proměnné hustoty. Díky použití stlačeného vzduchu se mohlo merit Reynoldsovo číslo a také dosáhnout větší jistoty výsledků. Myšlenka vytvoření takového tunelu patří německému vědci M. Munkovi.<sup>25</sup> Aplikováním teorie odporu prostředí se podařilo opracovat dokonalejší profil křídel, které se vyznačovali lepší nosností a stabilitou. Také se podařilo prozkoumat vliv křídel na ocasní plochu a proto ocas už nebyl navrhován „intuitivně“ ale na základě přesných výpočtu zohledňujících odpor vzduchu a zalomení proudění vzduchu působené křídly.<sup>26</sup>

První světová válka měla obrovský vliv na vývoj letectví. Poznatky získané během ni byli v poválečném období aplikované na nové konstrukce. Konstrukteři na rozdíl od období před válkou už nenavrhovali letadla s využitím jenom svoje zkušenosti a intuici ale začali provádět složité výpočty a aplikovat poznatky teoretické vědy. Při návrhu parametrů letadla a motoru, se braly do úvahy zákonitosti aerodynamiky. Intuitivní přístup v návrhu začal ustupovat vědeckému.<sup>27</sup>

<sup>20</sup> *Справочник по иностранным самолетам.* Москва: ЦАГИ, 1939

<sup>21</sup> Крейсон П.М. *Самолеты за 20 лет.* Ленинград: Ленинград, 1934

<sup>22</sup> ЮРЬЕВ Б.Н. *Экспериментальная аэродинамика.* Том 2. Москва, Ленинград: ОБОРОНГИЗ, 1938

<sup>23</sup> ШИРМАНОВ П.М. *Атлас аэродинамических характеристик авиационных профилей.* Москва: ОНТИ НКТП СССР, 1932

<sup>24</sup> *Справочник авиаконструктора.* Том 1. Москва: ЦАГИ, 1937

<sup>25</sup> WOLKO H.S. *In the cause of flight. Technologists of aeronautics and astronautics.* Washington, 1981

<sup>26</sup> НОВОКШОНОВ Ю.И. *Развитие исследований и методов расчета устойчивости и управляемости самолетов.* Диссертация кандидата технических наук. Москва: ИИЕТ, 1957

<sup>27</sup> JONES M. *The streamline aeroplane.* London, 1929



### 2.1.3 Třicátá léta – zlatý věk

Jestli budeme porovnávat období prvních patnácti let po válce s jiným obdobím v dějinách letectví, můžeme ho bez nadsázky popsat, jako období nejintenzivnějšího rozvoje a pokroků v tomto oboru. Letecká technika udělal velký evoluční krok kupředu.<sup>28</sup>

Hned po válce byly vytvořené šterbinové sloty, a za nedlouho také šterbinové klapky. Díky doplňující cirkulaci vzduchu účinnost šterbinové klapky byla vyšší než v případě obyčejné klapky, především v případě tlustého profilu křídla. Nicméně ještě v tom období zatížení na křídlo byly malé a tak použití šterbinové klapky, které hlavní úlohou bylo krácení přistávací a vzletové dráhy předběhlo svoji dobu. Ve stejný čas byla vytvořená v USA odklápěcí klapka.<sup>29</sup> V třicátých letech se začala používat Fowlerová klapka. Byla specifické tím že, klapka se vysunula z křídla, a tím zvyšovala tažnou sílu nejen kvůli zvětšení křivosti profilu, ale i kvůli zvětšení plochy křídla.<sup>30</sup>

Přistávací mechanizace křídla (klapky a sloty) byl jedním z příkladu předčasného vynalezu v letectví. Pomalí se začali zavádět na konci dvacátých let, kdy vznikla potřeba změnit aerodynamické vlastnosti křídla v závislosti na režimu letu. Od poloviny třicátých let se klapky stali obvyklými komponenty těžkých vícemotorových letadel, ale také často se používali i na jednomotorových letounech.<sup>31</sup>

V Dvacátých letech se začali používat hvězdicové vzduchem chlazené motory s pevnými válci. Díky použití nových materiálu a zlepšení formy chladících žebíř se podařilo vyrobit motory většího výkonu dosahujících až 500 koňských sil.

### 2.1.4 Období druhé světové války

Jak je známo, po čas války letadla rychle stárnou. To se potvrdilo také během druhé světové války. Charakteristickým rysem rozvoje letectví za druhé světové války bylo to, že zlepšování letadel šlo, především cestou modifikace vyrobených na konci třicátých a na začátku čtyřicátých let vzoru. Na rozdíl od období mezi roky 1914-1918, kdy každého roku se objevovali úplně nové konstrukce, které se lišili schématem, materiálem nebo druhem motoru.<sup>32</sup> Letadla v letech 1939 až 1945 byli především dopracovávaná. Drobná ale častá vylepšení přinášeli viditelné výsledky ve sféře aerodynamiky a zvýšení rychlosti. Pečlivé zdokonalování sériově vyráběného letadla dávalo často lepší efekt než, vývoj nového letounu.<sup>33</sup>

Díky zvýšení výkonu a zmenšení odporu letadel došlo k značnému zlepšení jejich výškovno-rychlostních vlastností. Rychlost letadel na malých a středních výškách vzrostla o 100-120 km/h. Ze zvětšením váhy a růstem aerodynamického zatížení způsobeného velkými rychlostmi vedli k potřebě zesílení konstrukce letadla. S růstem vzletové váhy

---

<sup>28</sup> СОБОЛЕВ Д.А., *История самолетов 1919-1945*, Москва: Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 1997 г., 357 с.

<sup>29</sup> MILLER R., SAWERS D. *The technical development of modern aviation*. London, 1968

<sup>30</sup> ЛЕВИН М.А. *Развитие способов изменения геометрии крыла*. Диссертация кандидата технических наук. Москва: ИИЕТ, 1982

<sup>31</sup> СОБОЛЕВ Д.А., *История самолетов 1919-1945*, Москва: Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 1997 г., 357 с.

<sup>32</sup> *Самолетостроение в СССР*. Книга 1. Москва, 1994

<sup>33</sup> СОБОЛЕВ Д.А., *История самолетов 1919-1945*, Москва: Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 1997 г., 357 с.

bylo třeba i zesílit podvozek. Kvůli velkým rychlostem používaný dřív plátnový plášť nahradil pevný dýhový, hliníkový nebo kompozitní.<sup>34</sup>

Válka stavěla před konstruktéry nové úkoly, které se nepředpokládali při předválečném návrhu letounu. Při vylepšování letadel zlepšení jedních vlastností obvykle způsobuje zhoršení jiných. Za války důležitým požadavkem pro vojenské letadlo je jeho rychlost a výkonnost výzbroje. Často se stávalo, že další zlepšení těchto parametrů způsobilo náhlé zhoršení jiných vlastností letadla. V polovině války možnosti modifikace stíhačky byly úplně vyčerpané.<sup>35</sup>

Jednou z nevykonnějších stíhaček za druhé světové války byl Nord American R-51 Mustang. Jeho konstrukce byla průlomová tím že letoun měl téměř ideální vnější aerodynamiku. Především R-51 Mustang byl prvním sériovým letadlem, které mělo křídla laminárního profilu. Laminární profily byly zpracované v aerodynamických laboratořích. Základem pro jejich vývoj byla teorie mezní vrstvy. Laminární obtékaní křídla je charakteristické souběžností linie průtoku. U starších letadel k němu docházelo v blízkosti přední hrany křídla, ale pod vlivem sil tření, průtok se stával turbulentním a síla povrchového tření se zvětšovala. Díky změně formy profilu a především, dokonalým opracováním povrchu křídla v laboratorních podmínkách, se dosáhlo skoro plné laminarizaci průtoku vzduchu. Výsledky aerodynamických testů ukázali, že použití laminárního profilu způsobilo zásadní zmenšení odporu na malých úhlech náběhu. Jak se pak zjistilo, dosáhnout laminarizačního obtékaní křídla v reálních podmínkách výroby se obvykle nedařilo. Sériová výroba, způsobovala nedokonalosti povrchu křídel. Špína, kapky tekutin nebo barvy negativně ovlivňovali hladkost povrchu. Při exploataci letadla drsnost povrchu vzrůstala a tak laminární proudění se měnilo na turbulentní.<sup>36</sup>

K hlavním novinkám dále patřilo použití tříkolového podvozku s nosovou vzpěrou podvozku a vznik kabiny nového typu, která se nacházela přímo v trupu letadla. Zvětšení zatížení na křídlo vynutilo zcela odmítnout klapku Kruegera ve prospěch šterbinových klapek nebo Fowlerových klapek. Všechny tyto inovace se pak využily v poválečném vývoji letectví.

V oboru aerodynamiky a rychlosti letu německým konstruktérem a vědcům se podařilo uplatnit některé průlomové prostředky zmenšení vlnového odporu vzduchu, jakými jsou šípovitě křídlo, křídlo s proměnou geometrií, křídlo delta. Jak je známo, tyto technické řešení našli široké využití v letectví.

Hlavní tendence ve vývoji vrtulových letadel v druhé světové válce:

- odmítnutí schématu dvojpláštníku s trojmotorovým pohonem.
- dokonale aerodynamické dopracování tvaru letadla.
- začátek použití laminárního profilu křídel.
- zavedení přistávací mechanizace za účelem kompenzace většího odporu na křídlo.
- Přechod na tříkolový podvozek s nosovou podpěrou, s kterou se dalo snadněji přistát a brzdit.

<sup>34</sup> SMITH J. Origin of species. *Aeroplane*. 20.12.1946

<sup>35</sup> СОБОЛЕВ Д.А., *История самолетов 1919-1945*, Москва: Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 1997 г., 357 с.

<sup>36</sup> LOFTIN L. *Quest for performance*. Washington, 1985.

- použití kapkovitého krytu kopule kabiny pro lepší výhled pilota.<sup>37</sup>
- Tendence k výměně dvoulistých vrtulí na vícelisté vrtule.
- Použití katapultovacího sedadla.<sup>38</sup>

Zásadní vliv druhé světové války na letecký průmysl neměl ani tak technický pokrok, ale diametrální zvětšení objemu výroby letecké techniky. Podle dobových záznamů v letech 1939 až 1945. Na světě bylo postaveno přibližně 800 tisíc letadel.<sup>39</sup>

### 2.1.5 Období od druhé světové války po současnost

Všechny hlavní technické prvky letadla (od radarů přes viníkovo-kompozitovou konstrukci po proudový pohon), které jsou v současnosti využívány v moderních letounech byli vynalezené do konce druhé světové války. Další vývoj představoval jen rozvoj a zdokonalování už existujících řešení.

V poválečném období se začal v rozsáhlejší míře používat hliník v základní konstrukci letadla. Existuje hodně druhů hliníkových slitin, které se dají kombinovat a používat podle potřeby konstruktéru. Jsou snadno opracovatelné, pevné a relativně lehké. Mají ale jeden zásadní nedostatek, při vysokých teplotách se zmenšuje jejich pevnost. Bod, který je pro hliníkové letadlo obtížné překonat je rychlost blížíící se Mach 2.5. Jde o takzvanou tepelnou bariéru. Pro konstrukci letadel létajících vysokými rychlostmi lze použít odolnější materiály jakými jsou ocel a titan, jsou ale hůř zpracovatelné a drahé. Z toho důvodu se používají především na místech kde vzniká nejvyšší teplota. Především na výtokovou trysku motoru a na jiných místech kde dochází k silnému aerodynamickému zahřívání způsobenému odporem vzduchu při vysokých rychlostech (náběžné hrany křídel).

Dalším zásadním objevem v oblasti konstrukce letadel je použití skořepinové a poloskořepinové konstrukce. Zjistilo se totiž, že hliník je natolik pevný, že kromě jeho použití v příhradové konstrukci trupu dá se z něho konstruovat pevnou, samostatnou a celistvou skořepinu. Použití kompaktní a aerodynamicky výhodné skořepinové kostry umožňuje vynechat těžkou příhradovou konstrukci. Skořepinová kostra je pevnější a zároveň lehčí, umožňuje letadlu unést větší náklad. Další její výhodou je, že se dá rychle sériově vyrábět.

V současnosti je hliník nejvíce používaným materiálem při konstrukci letadel. V posledních letech se ale čím dál tím více používají umělé kompozitové materiály, které se vyznačují vysokou pevností a nízkou váhou. Podrobněji se nimi zabýváme v kapitole pojednávající o leteckých materiálech.

Dalším důležitým komponentem moderního letadla je jeho pohonná jednotka. Sestrojený a úspěšně použit už v druhé světové válce proudový motor je dnes neodmyslitelnou součástí letecké branže. Je bezesporu nejvíc rozšířeným druhem pohonu jak ve vojenském tak i civilním letectví. Proudovými motory se detailně zabýváme v samostatné kapitole.

<sup>37</sup> PAVLŮSEK, Alois. *Sportovní a cvičná letadla*. Brno: CPRESS, 2016, ISBN 978-80-264-1146-8

<sup>38</sup> СОБОЛЕВ Д.А., *История самолетов 1919-1945*, Москва: Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 1997 г., 357 с.

<sup>39</sup> WISSMANN G. *Geschichte der Luftfahrt von Ikarus bis zur Gegenwart*. Berlin. 1966

Oblastí, která přešla asi nejintenzivnějším vývojem od konce druhé světové války do současnosti byla letecká elektronika. Jedním z nejdůležitějších elektronických prvků v letadle je radar, který poskytuje pilotovi množství informací. Nejmodernější radary jsou komplikovanými, ale především funkčními víceúčelovými nástroji, které hlavně ve vojenském letectví plní důležitou roli. Umožňují pilotovi se orientovat na bojišti a včas ho upozornit na případné hrozby. Radary v současnosti mají přijatelné rozměry a nízkou váhu proto nimi mohou být vybavené i malé stroje. Většina z nich má autonomní diagnostický systém, který je schopný lokalizovat poruchy a tím usnadnit práci pozemní obsluhy při opravě. Stačí jen porouchaný komponent vyměnit na nový. Stále nové modely radarů vyráběné hlavně pro vojenské letectví mají větší dosah, vysokou citlivost a rozlišení. Pokrývají a rozeznávají větší počet cílů a umožňují jejich automatické sledování.<sup>40</sup>

---

<sup>40</sup> CHANT Christopher. *Moderní letecké technologie. Přemožitelé rekordů*. Praha: Vaclav Svojka 1998. ISBN 80-7237-172-X

## 2.2 Statistika

### 2.2.1 Použití moderních materiálu pro stavbu cvičných letadel

Při analýze trendu ve vývoji cvičných letadel nesmíme zapomínat na velmi podstatný konstrukční prvek letadla a teda samotný materiál použitý na jeho stavbu. Už od samého začátku, kdy vznikali první létající stroje konstruktéři hledali lehčí a pevnější materiály na stavbu trupu a nosných ploch letadla. Počínaje dřevem a látkou, konče aramidovým vláknem se pokusíme přiblížit vývoj různých kompozitních materiálu a jejich uplatnění v leteckém průmyslu.

Kompozit je materiál, skládající se ze dvou nebo více složek, které samé o sobě mají rozličné fyzikální vlastnosti, spojené ale spolu v kompozit dávají mu jiné vlastnosti, které žádná ze stavebních složek samostatně nemá. Inspiraci pro použití a vývoj kompozitních materiálu čerpali vědci a konstruktéři z přírody. Stavba stromu je v své podstatě připomíná kompozitní materiál, který se skládá z dvou hlavních substancí: celulózy a ligninu. Dlouhé silné vlákna celulózy se tahají podél celého kmenu až do konce větví čím mu zajišťují tvrdost. Lignin spojuje a zpevňuje celulózové buňky pohromadě a tím zajišťuje pevnost dřeva v tlaku. Dřevo je jedním z prvních konstrukčních materiálu člověka a proto není překvapující, že i první letadla měli dřevěnou konstrukci potaženou látkou. Letadla se tímto způsobem stavěli ještě do druhé světové války. Postupně konstruktéři začali využívat pro stavbu trupu a nosných ploch letadla taky jiné pevné materiály jakými jsou ocel a hliník. Lehké hliníkové slitiny jsou od třicátých let minulého století až do dnešních dnů široce využívané při výrobě letadel avšak postupně jsou vytlačovány vláknovými kompozity.

Kompozity mají jeden zásadní rozdíl oproti oceli a slitinám hliníku. Mají totiž anizotropní vlastnosti (jejich fyzikální vlastnosti závisí na směru, ve kterém jsou měřeny) kdežto kovy jsou izotropními látkami a jejich fyzikální vlastnosti jsou stejné ve všech směrech. V současnosti nejvíc sofistikované letadlové konstrukce využívají kombinaci těchto vlastností a jsou staveny jako z kovu (převážně hliníkových slitin) tak z vláknových kompozitů. Rozdíl ve vlastnostech materiálu v závislosti na směru měření si všimli už první konstruktéři. Jak jsme už dříve zmínili dřevo je ve své podstatě kompozit a tudíž je to anizotropní látka. Dříví se obtížně láme (štípe) napříč letokruhu snadnější je ho rozštípnout podél letokruhu. Tuto anizotropii lze redukovat když z dříví vyrobíme laminát - překližku.<sup>41</sup> Příkladem letadla, které bylo vyrobeno z dřevěného laminátu (kompozitu) je slavný stíhací bombardér z období druhé světové války DE Haviland 98 Mosquito. Při jeho konstrukci byly použity kompozitní skladnice se z vrstvy překližky-balsy-překližky. Dřevěný laminát byl v tomto případě využit spíše z důvodu nedostatku ocele a hliníku (tedy materiálu, z kterého v tom case byla vyrobena většina letadel). Nicméně laminátová konstrukce Mosquita se ukázala jako velmi lehká a umožňovala dosazení rychlosti 630 km/h. Mosquito byl v období druhé světové války nejrychlejší letoun RAF<sup>42</sup> a co se týče rychlosti rovnat se s ním nemohl ani slavný Spitfire.<sup>43</sup>

<sup>41</sup> D.H. MIDDLETON. *Composite materials in aircraft structures*. New York: Longman Group UK Limited, 1990. ISBN 0-582-01712-2

<sup>42</sup> Royal Air Force – Královské vojenské letectvo Spojeného království

<sup>43</sup> LÜDKE, Alexander. *Vojenská technika druhé světové války*. Vydání první. Slovart 2003. ISBN 978-80-7391-207-9

Vynalezení a následný vývoj nových druhů vláknových kompozitů brzy připoutal pozornost vývojářů letadel, kteří začali ve větší míře využívat tyto syntetické látky v leteckých konstrukcích. Na začátku 20. století se začali vyrábět syntetické organické materiály, které byly získávány z rostlin a uhlí. postupně hlavním zdrojem, z kterého se produkovaly nové materiály jakými bylo: plasty, guma, lepidla, barvy se stala ropa. Velký technologický skok se odehrál v 1908 roku kdy belgický chemik Leo Bakelad vynalezl fenolovou pryskyřici – Bakelit. Následovaly objevy polyesteru, epoxidu a silikonu. Brzy se ale ukázalo, že tyto syntetické látky pro použití v letectví jsou příliš křehké nebo některé až příliš flexibilní. Začali se tedy k nim přidávat výplň složená z dřeva a jiných celulozických vláken, papíru nebo azbestu a tím vlastně vznikl kompozit.

Další vývoj fenolových pryskyřic vedl v 1920 roku k produkci kompozitu nazvaného Formica. Formica je materiál, který se skládá z kartonu impregnovaného fenolovými pryskyřicemi a je považován za přímého předchůdce dnešních vysoko výkonných vláknových kompozitů. Formica inspirovala na sklonku třicátých let minulého století Dr. Normana de Bruyne pracujícího v laboratořích Aeoro Research v Cambridge k výrobě speciálního laminátu pro účely leteckého průmyslu. Výsledkem jeho práce byl materiál s názvem Gordon Aerolite. Aerolite byl vytvořen z fenolové pryskyřice, v které se nacházely rozvinuté vlákna lnu. Z toho materiálu byl ku příkladu vyroben trup jedné z nejlepších stíhaček druhé světové války Supermarine Spitfire. I když kompozit Gordon Aerolite měl vysoký potenciál dalšího rozvoje pro nedostatek času ve válečném stavu nebyla dále ve Velké Británii vyvíjená výrobní technologie toho materiálu. Namísto toho se i nadále používali litinové slitiny všude, kde se jen dalo a dokonce docházelo k tomu že litinové díly byli, za účelem zrychlení výroby, spolu nýtované což určitě nepřispívalo k snížení váhy letadla.

Na konci války Briti uspořádali sérii testů materiálu Gordon Aerolite a zjistili, že trup letadla vyrobený z této látky má stejnou váhu jak trup letadla z hliníku. Bylo také zjištěno že Aerolite a také jiné kompozitní materiály nemají tak dlouhou výdrž jak kovy. Vlhkost způsobuje jejich rychlejší opotřebení, především v případě kompozitů obsahujících celulózu, čím je rádi na stejnou úroveň jak dřevo.

Řešením problému jakým byl negativní vliv vlhkosti na první kompozity se ukázalo použití nového druhu materiálu, který by sloužil jako výplň pryskyřice a přitom byl odolný vůči povětrnostním podmínkám. Takým materiálem byli skleněná textilní vlákna. Původně byli vyvinuta s cílem použít je k síti tkanin. Brzy se ale ukázalo, že tkaniny z nich ušité mají malou odolnost vůči oderu a vůbec se nehodí k tomu k čemu byly vyvinuté. Místo toho skleněná vlákna našli skvělé uplatnění v leteckém průmyslu. Letečtí konstruktéři začali ze skleněná vlákna podrobněji zkoumat a zjistili, že když smícháme skleněná vlákna z polyestérové pryskyřice získáme velmi kvalitní kompozit s nízkou pórovitostí (odolnost vůči vlhku), který má velice atraktivní mechanické vlastnosti. Nový kompozit se vyznačoval velkou pevností a tuhostí v poměru k váze. Ještě před skončením druhé světové války v 1943 roku vzniklo v USA cvičné letadlo, kterého trup byl vyrobený z laminátu složeného se ze skleněných textilních vláken vystuzených polyesterovou pryskyřicí.

Po druhé světové válce další rozvoj vyústil k vzniku lepší epoxidové pryskyřice, která nahradila dřívější polyesterovou pryskyřici skoro ve všech kompozitech obsahujících skleněná vlákna. V současnosti právě skleněná vlákna a moderní epoxidová pryskyřice jsou

nejvíce rozšířenými základními materiemi vyžívanými k výrobě leteckého kompozitu, protože poskytují dobrý poměr mechanických vlastností k jejich ceně.

Nicméně rozvoj nových materiálů s potencionálním využitím v leteckém průmyslu neskončil. V mnoha laboratořích a výzkumných ústavech jsou testovány nové kompozity. Jedním z nových materiálů, který se už začíná používat v konstrukci letadel je Aramid. Aramidové vlákno bylo vyvinuté v šedesátých letech dvacátého století a je to první materiál, který využívá sílu a tuhost uspořádaných uhlíkových polymerových řetězců. Vyznačuje se velkou pevností a odolností vůči roztahování, a dobře snáší vysoké teploty. Pro potřeby leteckého průmyslu je nejvíce využitelný kompozit, který se vytváří takým způsobem, že tenké folie z aramidových vláken se zakomponují do jiných materiálů, hlavně pryskyřic, které je slepují a tím se vytváří kompozit s vysokou mechanickou odolností. Nejznámějšími aramidovými vlákny jsou kevlar z kterého se vyrábí neprůstřelné vesty a nomex sloužící na výrobu ohnivzdorných materiálů a kombinéz. Excelentní poměr tuhosti k nízké váze předurčuje Aramid jako materiál pro stále širší využití v leteckém průmyslu.

Je zřejmé, že kompozitní materiály využívající skleně a aramidové vlákna budou čím dál tím více využívány v konstrukci letadel. Jejich hlavní výhodou oproti oceli a hliníku je, že při zachování nízké hmotnosti poskytují stejnou nebo lepší mechanické vlastnosti. Nezanedbatelným faktorem je také stále klesající výrobní cena kompozitu. Proto nepřekvapuje fakt, že i když ocel a hliník jsou stále jedním z hlavních materiálů, z kterého je stavěno letadlo, stále více součástí a komponentů vyrobených z kovu je nahrazováno komponentami z kompozitu. Kompozitní materiály jsou také předmětem neustálého bádání, vývoje a zdokonalování, kterého katalyzátorem jsou nejenom potřeby civilního trhu ale především výskum a vývoj nových vojenských leteckých zařízení: letadel, vrtulníků a raket. Nepochybně nové objevy v oblasti leteckých materiálů najdou nejdříve využití v armádních bojových strojích, postupně se ale jejich použití přesune také na cvičná letadla a civilní trh.<sup>44</sup>

## 2.2.2 Vývoj leteckých motorů.

První létající stroj vznikl v 1783 a byl ním horkovzdušný balon bratrů Montgolfierových. Jeho let se ale nedalo řídit a pohyb balonu byl podmíněn nepředvídatelným prouděním větru. Už první průkopníci létání, kteří stále ještě používali balóny, si záhy uvědomili, že je třeba do samotného vznášení se zakomponovat i řízení pohybu prostorem. Na konci osmnáctého století se francouzský fyzik Jacques Alexandre César Charles pokoušel uvést balón plněný vodíkem do pohybu pomocí vesel. Samozřejmě moc velký úspěch nedosáhl. Prvním konstruktérem, který navrhl říditelný létající stroj byl Victor Meusnier. Jeho projekt z 1775 roku (předběhl dokonce bratry Montgolfierovi) předpokládal použití zdroje energie, který by poháněl vrtuli. Vrtule měla zajistit pohyb vzdušného tělesa. Bohužel v tomto case ještě neexistoval motor, který by byl dostatečně lehký a výkony aby se ho dalo využít k pohonu vzdušných plavidel a tak jeho projekt se nepodařilo zrealizovat. Po celé devatenácté století byli prováděny pokusy s instalací parních motorů na balony. Prvním komu se podařilo nainstalovat parní stroj na vzducholod' byl Henri Giffard. V 1852 roce uskutečnil první let se zdrojem pohonu a možností řízení

<sup>44</sup> D.H. MIDDLETON. *Composite materials in aircraft structures*. New York: Longman Group UK Limited, 1990. ISBN 0-582-01712-2

směru pohybu. Jeho vzducholod' poháněl 150 kilogramový parní stroj s nepříliš ohromujícím výkonem 2,2 kW. Šlo vlastně o první let pohaněný vrtulovou pohonnou jednotkou.

### 2.2.2.1 Pístové motory

Vrtulové pohonné jednotky jsou charakteristické tím, že tah zabezpečuje vrtule, která urychluje proud vzduchu obtékající motor. Opravdový průlom v odvětví vrtulového pohonu létajících strojů nastal až na konci devatenáctého století kdy se začali používat pístové spalovací motory pohánějící vrtuli. Prvními letci, kteří využili nový zdroj pohonu byli bratři Wrightové a na svoje letadlo umístili 100 kilogramový spalovací motor s výkonem 8,8 kW, kterým roku 1903 uskutečnili svůj slavný let. Od toho období se k pohonu letadel používali už jenom pístové spalovací motory. Během následujících let vznikali stále výkonnější motory a jejich hmotnost klesala. Prodlužovala se doba letu a jeho rychlost. Na prahu prvního světového konfliktu letadla dokázala letět nepřetržitě víc jak 12 hodin a jejich rychlost dosahovala 170 km/h. Na začátku dvacátého století se používali dva základní druhy pístových motorů, chlazené vzduchem a kapalinou. V případě motorů chlazených vzduchem se objevila zajímavá konstrukce, která měla zefektivnit chlazení motoru. Vznikl rotační hvězdicový motor, v kterém písty rotovali na ose kolem pevné hřídele. Rotace pístu zefektivňovala jejich chlazení a zároveň zabezpečovala pohyb vrtule. Asi nejznámějším letounem poháněným tímto druhem pístového motorů byl trojplášník Fokker Dr.I na kterém létal i nejúspěšnější prvo-válečný stíhací pilot Manfred von Richthofen. Velkou nevýhodou rotačních motorů byla nespolehlivost a nízký výkon (maximální výkon, který se podařilo dosáhnout u těchto motorů byl 170 kW).

Proto po první světové válce se víc začali používat pístové motory chlazené kapalinou s pevnými válci, které mohli dosahovat výkon větší než 200 kW. Jedním z nejrozšířenějších motorů toho období byl vodou chlazený motor Hispano Suiza, který se dokonce licenčně vyráběl v Československé republice. Měl osm válců uspořádaných v tvaru písmena V.

Nicméně i nadále se používali motory chlazené vzduchem, které měli podobně jak v případě hvězdicových rotačních motorů válce uspořádané v kruhu (hvězdě). Jejich válce se ale neotáčeli byli pevné a poháněli hřídel v jejich střede, která otáčela vrtuli. Hvězdicové vzduchem chlazené motory s pevnými válci byli omnoho spolehlivější a výkonnější než jejich rotační předchůdci.<sup>45</sup> Tyto motory našli široké uplatnění v civilní dopravě. V Porovnání s pístovými motory chlazenými vodou měli menší váhu, byly jednodušší konstrukce a levnější. Nevýhodou motorů chladných vodou byl velký aerodynamický odpor, kvůli vystupujícím válcům do průtoku vzduchu.<sup>46</sup>

V meziválečném období pístové motory byli stále vylepšované a dosahovali stále lepších parametru. Do motorů jsou přidávané technická inovace například odstředivý

---

<sup>45</sup> KOCÁB, Jindřich, ADAMEC Josef. *Letadlové motory*. Praha: KANT s.r.o., 2000. ISBN 80-902914-0-6

<sup>46</sup> *Справочник авиаконструктора*. Том 1. Москва: ЦАГИ, 1937



kompresor, stavitelné vrtule nebo reduktor otáček. Letadla tak mohla létat ve vyšších výškách a dosahovat výkonu až kolem 750 kW.<sup>47</sup>

### 2.2.2.2 Proudové motory

Druhá světová válka jak skoro každá válka byla katalyzátorem pro vědecký výzkum. Vývojáři pracovali nad stále lepšími motory aby vytvořili účinnější válečné stroje než má protivník. Pístové motory dosahovali pozoruhodný výkon necelých 3000 kW a blížili se k vrcholu svých technických možností. Až vynález tryskových motoru a jejich úspěšné použití v vojenských letadlech Luftwaffe<sup>48</sup> na konci druhé světové války znamenalo ve válečném letectvu postupný odsun vrtulemi poháněných jednotek do ústraní.<sup>49</sup> Vrtulové motory se ale nadále používají pro mnoho druhu letadel, u kterých se nevyžaduje špičkový výkon. Jejich provoz není tak nákladný jak v případě tryskových motoru. Jsou velmi rozšířené u cvičných, sportovních letadel ale také menších civilních dopravních letadlech.

Mezi tryskové pohonné jednotky patří: bezlopatkové (pulsací, náporové), lopatkové (proudové, dvouproudové, turbohřídelové) a raketové. My se ale zaměříme na vývoj lopatkových motoru, které jsou v současnosti nejvíce rozšířené. Proudové a dvouproudové motoru se nejvíc uplatňují při konstrukci civilních, vojenských a cvičných letadel, turbohřídelové motory pohánějí prakticky všechny moderní vrtulníky. Tryskové motory fungují na odlišném principu než vrtulové. Ku příkladu tah proudové pohonné jednotky vzniká tak, že se spalováním palivové směsi dosahuje urychlení průtoku vzduchu protékajícího motorem. Jinými slovy hnací tryska je součástí motoru, která realizuje tah pohonné jednotky.<sup>50</sup>

Od období druhé světové války do současnosti proběhl intenzivní vývoj proudových motoru. Vývoj motorů všeobecné je podmíněn úrovní dvou vědeckých odvětví: metalurgie (nauky o sprayování kovu a slitin) a technologie (nauka o výrobních postupech). Úroveň metalurgie podmiňuje použité materiály na stavbu leteckých motorů a úroveň technologie ovlivňuje samotné metodu a ceny stavby motoru.

Jak jsme už zmínili k prvnímu úspěšnému letu letadla z proudovým motorem došlo za druhé světové války (v 1939 roku). Byl ním testovací letoun Heinkel He 178 navržen německým vynálezcem Hansem von Ohainem. Letounem, který ale ohromil spojenecké i německé piloty svým výkonem byl stíhač bombardér Luftwaffe Messerschmitt ME 262 Schwalbe, který dosahoval úctyhodnou rychlost 870 km/h.<sup>51</sup> Nejenom Němci pracovali nad vývojem proudového motoru, byli jenom první, kterým se podařilo tak poháněný stroj zařadit do výzbroje svých vzdušných sil. Za skutečného vynálezce proudového motoru se považuje anglický konstruktér Frank Whittle, který si svůj vynález nechal patentovat už v 1930 roku. První zkoušky letadla z proudovým motorem Britové provedli v 1941 a roku 1944 byl v boji nasazen první proudový stroj RAF - Gloster Meteor. Také v Sovětském Svazu v čase před napadením hitlerovským Německem byl prováděn intenzivní výzkum

<sup>47</sup> KOCÁB, Jindřich, ADAMEC Josef. *Letadlové motory*. Praha: KANT s.r.o., 2000. ISBN 80-902914-0-6

<sup>48</sup> Luftwaffe - německé válečné letectvo

<sup>49</sup> LÜDKE, Alexander. *Vojenská technika druhé světové války*. Vydání první. Slovart 2003. ISBN 978-80-7391-207-9

<sup>50</sup> KOCÁB, Jindřich, ADAMEC Josef. *Letadlové motory*. Praha: KANT s.r.o., 2000. ISBN 80-902914-0-6

<sup>51</sup> LÜDKE, Alexander. *Vojenská technika druhé světové války*. Vydání první. Slovart 2003. ISBN 978-80-7391-207-9

tryskového pohonu. Průkopníkem v oboru byl vývojář A.M. Ljuka, který vynalez dvouproudový letecky motor a v roce 1941 si ho nechal patentovat. Vpád Wehrmachtu<sup>52</sup> do Sovětského Svazu přerušil veškeré další práce nad tryskovým pohonem, které byli obnovené až v 1944 roku. První proudový motor TR-1 byl sestaven roku 1947 a poháněl stíhací letoun Su-11. Státem, v kterém rozvoj tryskového pohonu nebyl až tak intenzit byli Spojené Státy. Jedním z důvodu bylo, že USA se poměrně pozdě zapojili do války a rozvoj nových zbraňových systému (taky pohonu vojenských letounu) nebyl prioritní. Dalším důvodem byl fakt, že americká společnost General Electrics vyráběla špičkové pístové letecké motory s vysokým výkonem a tím uspokojovala potřeby válečného letectva. Vláda USA se rozhodlo jít jinou, snazší cestou a nakoupila licenci na už existující proudový motor RR Nene od Velké Británie. V 1947 roku začala společnost General Electrics na jeho zaklade výrobu proudového motoru s označením J42 Turbo-Wasp.

Co se týče principu fungování proudového motoru dá se ho v krátkosti opsat následujícím způsobem: Kompresor vtahuje vzduch přes vstupní usměrňovací ústrojí a způsobuje jeho stlačení. Stlačený vzduch se dal přesunuje do spalovací komory, kde do něj palivové trysky vstříkují palivo. Následně dochází k zážehu paliva pomocí zapalovací svíčky. Palivo hoří v prostředí konstantního tlaku a zvyšuje teplotu plynu v spalovací komoře. Dále hořící plyn proudí přes rozváděcí lopatky do oběžných lopatek turbíny, v které předává část své energie turbíně, která slouží na pohánění kompresoru. Hořící plyny po přechode přes turbínu mají stále ještě vyšší tlak než okolní atmosféra. Dále jsou převáděny do hnací trysky, kde se tepelná a tlaková energie hořících plynu transformuje na kinetickou energii zabezpečující tah motoru a teda samotný pohyb letadla. Výkon proudových motorů se pohybuje v rozsahu od 0,245 kN do 450 kN tahu.

V současnosti při navrhování nových proudových motorů se bere zřetel na náklady na provoz a údržbu motoru. Vývojáři se snaží projektovat motory s co nejnižší spotřebou pohonných hmot v poměru k výkonu. Důležitým požadavkem je také možnost snadné údržby motoru a v případě poruchy možnost nenákladné opravy nebo výměny poškozené součástky. Toho se podařilo dosáhnout použitím modulové konstrukce. Motor je rozdělen do několika komponentu (modulu), které se dají v případě poruchy nebo vyčerpání provozní doby z motoru vyjmout a nahradit novými bez potřeby rozebírání celého motoru. Poškozený modul se potom opraví a dal slouží jako náhradní díl.

V současné době existuje velká rozmanitost proudových motoru, které můžeme rozdělit na dva základní typy: jednoproudové a dvouproudové.

Takzvaný „Čistý“ jednoproudový motor se nejvíc uplatňuje ve vojenském letectví. Umožňuje vysoké letové výšky a vysokou letovou rychlost. Tah jednoproudového motoru v běžném režimu fungování dosahují 80 až 120 kN. Tah motoru se dá ještě zvýšit tzv. přídavným spalováním. Použitím jiné konstrukce výstupní trysky a dodatečným vstříkovaní paliva je možné zvýšit tah motoru o 40-60% a dosáhnout rychlosti 2 až 3 Machy. Samozřejmě při použití přídavného spalování spotřeba paliva roste o 100 někdy i víc procent.

---

<sup>52</sup> Wehrmacht – ozbrojene síly Třetí říše.

Požadavek na nízkou spotřebu paliva nejlíp splňuje dvouproudový motor. Nejvíce se uplatňuje v civilním letectví. Dvouproudové motory se vyznačují vysokým tahem až 450 kN proto jsou používány k pohonu těžkých dopravních a nákladních letadel. Jejich vysoký výkon je taky důvodem, že jsou v posledních letech čím dál tím častěji využívány ve vojenském letectví, dokonce i pro pohon stíhacích letounů. Dvouproudové motory s přidavným spalováním pohánějí ku příkladu stíhací letouny F14, F16 nebo MiG 29. Dvouproudové motory oproti jednoproudovým mají mnohem nižší výtokovou rychlost plynu z trysky a tím pádem jsou méně hlučné. Právě nízká hlučnost a menší spotřeba podmanili jejich široké použití v dopravě. Moderní velké letiště jsou často blízko velkých metropoli a obydlených oblastí a relativně nízká hlučnost dvouproudových motorů méně zatěžuje obyvatelstvo. Dá se říct, že v současnosti už žádné dopravní letadlo není poháněno hlučným jednoproudovým motorem. Jak jsme už zmínili dvouproudový motor může dosahovat obrovského výkonu ale existují i menší varianty, kterých tah je v rozmezí 10 – 20 kN. Tyto motory se instalují do cvičných letounů nebo menších dopravních letadel, kde se cení nízkou spotřebou a tichostí. Dvouproudový motor svoji širokou škálou použití nízkou spotřebou a dobrým výkonem je nejvíce perspektivním druhem motoru, který se určitě bude i nadále rozvíjet.

### 2.2.2.3 Turbovrtulové motory

Posledním druhem tryskového lopatkového motoru je motor turbohřídelový. Na prakticky identickém principu pracuje motor turbovrtulový, který ale zařazujeme do kategorie vrtulových pohonných jednotek. Turbohřídelový motor pohání hřídel rotoru vrtulníku, turbovrtulový motor pohání vrtuli letadla. Jak naznačuje samotný název, tah motoru není tvořen proudem horkých plynů plynoucích z trysky jak u proudových motorů, kde energie hořících plynů vztekajících z trysky se transformuje na kinetickou energii vytvářející tah motoru. U turbohřídelového a turbovrtulového motoru energie hořících plynů působí primárně na turbínu, která pohání hřídel rotoru nebo vrtuli. V turbíně musí tedy vzniknout nadbytek výkonu. Většina energie hořících plynů je spotřebována na pohon turbíny a proto tah nevzniká v momentě výstupu plynu z trysky jelikož jejich energie je už nízká (spotřebována). Tah vzniká otáčením vrtule, která je poháněna turbinou přes reduktor. Turbohřídelový a turbovrtulový motor se vyznačují nižší spotřebou paliva ale také nižší rychlostí než proudové motory. Používají se nejvíce jako pohon rotoru vrtulníku, v civilní a vojenské letecké dopravě, jsou také montovány na menších civilních letadlech.

Do budoucna lze předpokládat že bude kladen důraz na zmenšení spotřeby leteckých motorů. Zmenšující se zásoby uhlovodíkových paliv nám nenechají jinou možnost. Brzy bude třeba hledat alternativní zdroje energie. Jedním z možných řešení jsou vrtulové letadla poháněná energií z solárních panelů umístěných na trupu a křídlech. Nedávno bylo provedeno několik úspěšných testů solárního letadlového pohonu. Další možnosti může být využití vodíkové energie. Už teď existují plány nahrazení běžných leteckých paliv na bázi uhlovodíku vodíkovým palivem, zatím ale úroveň technologie neumožňuje masové nasazení vodíkových motorů. Lze ale předpokládat, že v budoucnosti bude vyvinuta provozuschopná vodíková pohonná jednotka.<sup>53</sup>

---

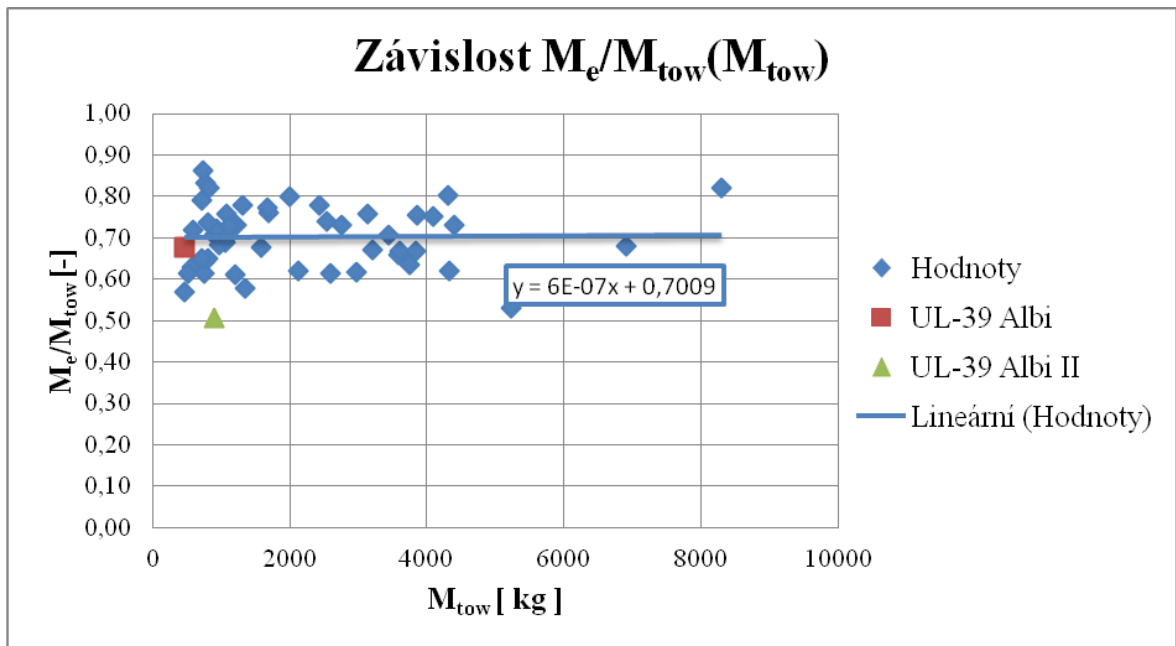
<sup>53</sup> KOCÁB, Jindřich, ADAMEC Josef. *Letadlové motory*. Praha: KANT s.r.o., 2000. ISBN 80-902914-0-6

### 3. Trendy ve vývoji cvičných letadel

Pro analýzu trendů jsme vybrali několik důležitých parametrů, které charakterizují změnu či stálost ve vývoji cvičných letadel.

Porovnali jsme:

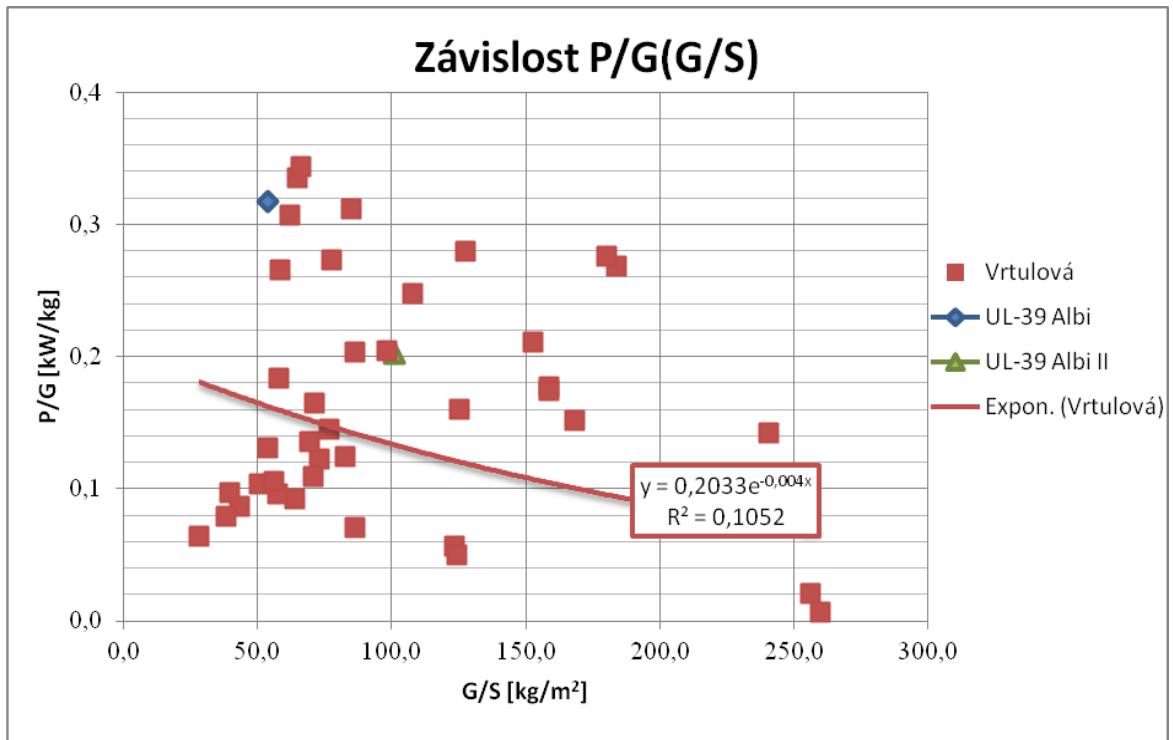
- poměr prázdné hmotnosti letounu k maximální vzletové v závislosti na maximální vzletové hmotnosti,
- poměr výkonu k vaze vzletové s plošným zatížením dvou druhu letadel: proudový a vrtulový,
- poměr maximální rychlosti k padací rychlosti v závislosti na poměru výkonu k vaze vzletové dvou druhu letadel: proudový a vrtulový,
- štíhlost křídla s maximální vzletovou váhou.



Graf 1. - Poměr prázdné hmotnosti letounu k maximální vzletové v závislosti na maximální vzletové hmotnosti

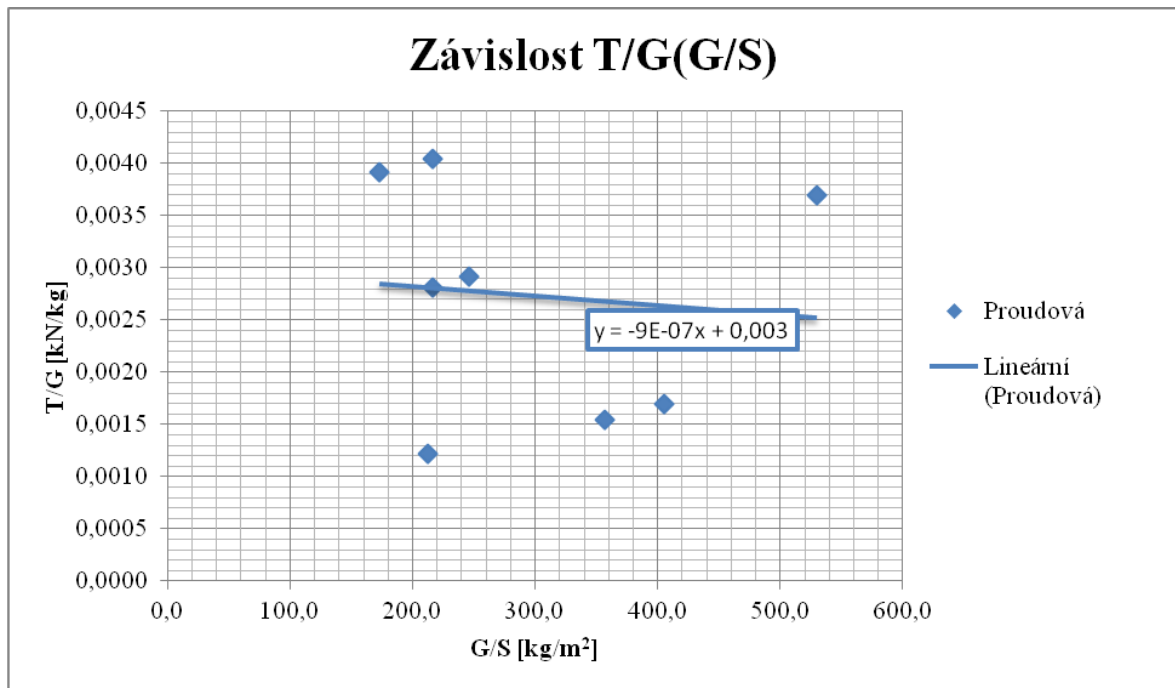
Z tohoto grafu můžeme posoudit, jak závisí poměr dvou mas na vaze vzletové. Na grafu vidíme, že závislost je lineární a číselná hodnota poměru v rozmezí  $\langle 0,6; 0,8 \rangle$ .

Co se týče umístění hodnot, u UL-39 Albi hodnota vchází v toto rozmezí, a UL-39 Albi II nachází níž toho intervalu.



Graf 2. - Závislost poměru výkonu k váze vzletové s plošným zatížením u vrtulových letadel

U vrtulových letadel poměr výkonu k váze vzletové s plošným zatížením je především v rozmezí <0;200>. Výsledná čára má tvar exponenty, což nám ukazuje, že čím plošné zatížení je větší, tím nižší hodnota poměru výkonu k váze.

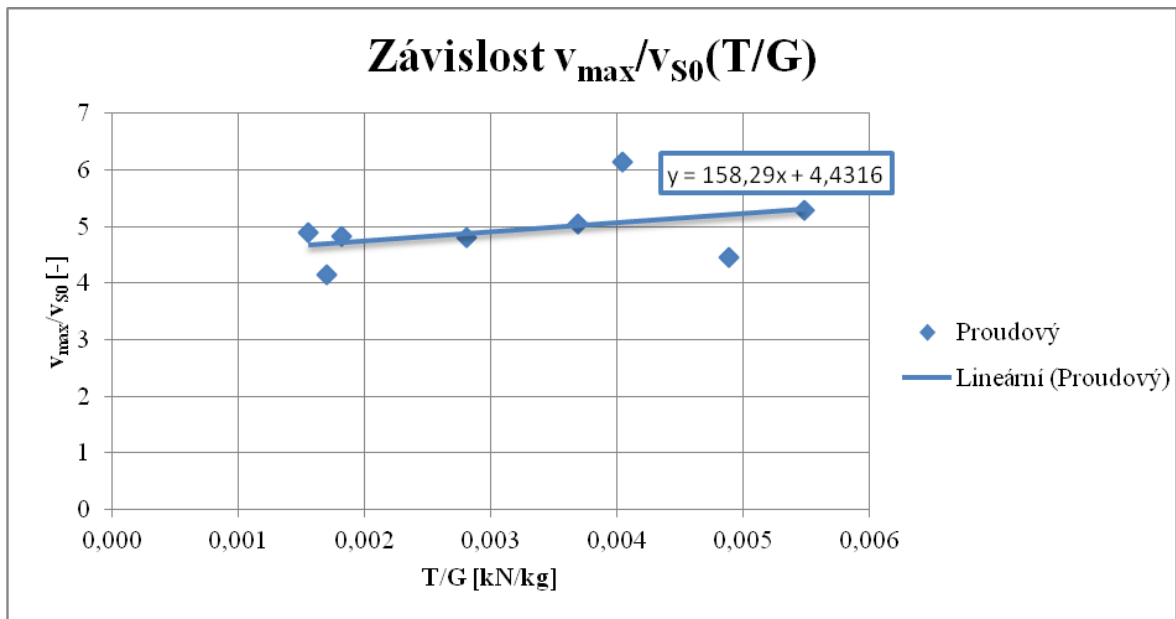


*Graf 3. - Závislost poměru výkonu k váze vzletové s plošným zatížením u proudových letadel*

U proudových letadel poměr výkonu k váze vzletové s plošným zatížením je především v rozmezí <200;400>. Výsledná čára je lineární funkce, což nám ukazuje, že čím plošné zatížení je větší, tím nižší hodnota poměru výkonu k váze.

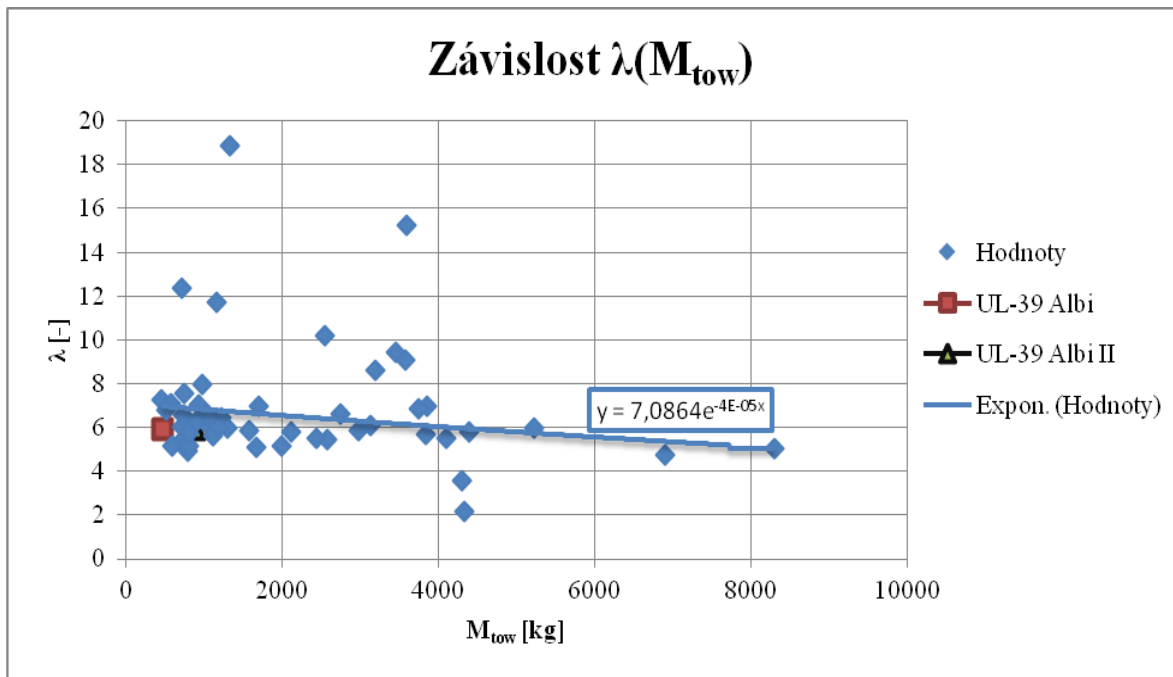






*Graf 5. - Poměr maximální rychlosti k padací rychlosti v závislosti na poměru výkonu k vaze vzletové u proudových letadel*

V porovnání poměru maximální rychlosti k padací rychlosti v závislosti na poměru výkonu k vaze vzletové u proudových letadel vidíme, že souhrn bodů leží v rozmezí  $\langle 4,5; 5 \rangle$ .



Graf 6. - Závislost štíhlosti křídla na maximální vzletové váze

V závislosti štíhlosti křídla na maximální vzletové váze vidíme, že výsledná funkce je exponenciální, nejvíc bodů leží v intervalu  $\langle 4;8 \rangle$ .

Oba letouny UL-39 Albi, -II v toto rozmezí vchází.

## 4. Návrh požadavků pro nový cvičný letoun

Při návrhu cvičného letadla jsme se opírali na konstrukci ultratenkého letounu UL-39 Albi, který vyrobila fakulta strojní Českého Vysokého Učení Technického v Praze. Jeho první let byl úspěšný a o letoun projevil zájem armáda, která by chtěla mít zlepšenou verzi tohoto letounu ve svém leteckém parku pro výcvik pilotu.

Na úvod si v krátkosti představíme konstrukci a vlastnosti UL-39 Albi.

Jde o dvoumístný dolnoplošník, kterého drak je zhotoven z kompozitu. Má tříkolový přídový podvozek tzv. obrácený tricykl. Ocasní plochy má v klasickém tvaru s plovoucím výškovým kormidlem. Křídlo má tvar lichoběžníku a je vyrobeno z profilu o označení MS (1)-03XX. V kokpitu jsou dva sedadla za sebou (pro instruktora a žáka). Křídla jsou vybavena Fowlerovými klapkami, které zkracují přistávací dráhu a zároveň zmenšují rychlost přistání.<sup>54</sup>

Rozebereme nejčastější požadavky, které se kladou na ultratenké sportovní a cviční letadla, jsou to:

- maximální přípustné exploatační přetěžení;
- maximální výška letu;
- vysoká manévrovatelnost.

Pro armádní využití tohoto letounu tyto požadavky by byly následovné:

- +6/-3g
- 3000 metrů
- střední

Před samým návrhem letounu chtěli bychom rozebrat hlavní komponenty ultralightu a posoudit které druhy jsou nejlepší variantou.

### **Křídlo.**

Křídlo je hlavní část libovolného letadla, a od volby jeho geometrických rozměrů v podstatě, závisí parametry celého letounu.

Pod geometrickými rozměry chápeme jeho plochu, štíhlost, zúžení, relativní tloušťku a zakřivení profilu.

Na aerodynamické vlastnosti křídla má zásadní vliv volba vyhovujícího profilu. S pohledu aerodynamiky nejvíc vyhovujícím profilem je ten, který má vysoký koeficient zvedací síly  $C_y$  na velkých úhlech náběhu a vysokou aerodynamickou kvalitu křídla na mírných úhlech. Vysoká hodnota  $C_y$  dovoluje při dané ploše křídla zmenšit rychlost vzletu a přistání letadla, a vysoká kvalita zajišťuje maximální rychlost letu při dané výkonnosti motoru. Výkon

---

<sup>54</sup> ILICH, Zdeněk. *Příspěvek: Dmychadlový pohon pro ultralehký letoun – CFD analýza výstupního kanálu* [online]. MAGAZÍN LETIŠTĚ České republiky ©2017. [cit. 2017-08-04] Dostupný z: <<http://www.letistecr.cz/data/files/2558.pdf>>

motoru a kvalita letadla určují i takovou důležitou charakteristiku, jak stoupavost (svislá rychlost stoupaní po vzletu).

Nejvíce používané jsou profily T-II a T-III s tloušťkou 12...20%.

Klapky se u toho typu letounech obvykle nepoužívají protože výrazně zhoršují aerodynamické vlastnosti křídla při relativně malém zvětšení koeficientu zvedací síly.

Nejvýhodnějšími profily jsou s proměnnou relativní tloušťkou 18...20% u kořenových žeber a 10...14% na konci žeber nosníků.

Plocha křídla je jedním z nejvíce důležitých parametrů letadla. Plocha křídla určuje většinu rozměrů letadla a jeho technické, váhové, geometrické parametry. Zmenšení plochy, a zároveň i váhy křídla, má vliv na zmenšení váhy celého letounu, ale z pravidla je to třeba kompenzovat výkonnějším motorem. Čím menší plocha křídla tím je delší vzletová dráha a je za potřebí vyšší rychlosti pro vzlet.

Při volbě štíhlosti křídla, je třeba brát do úvahy, že ten důležitý parametr má velký vliv na aerodynamickou kvalitu letounu. Často ultralight s danou maximální rychlosti vodorovného letu se navrhuje pod motor, který je k dispozici. V takovém případě, minimální potřebná štíhlost křídla se zjišťuje podle výkonu zvoleného motoru.

### **Zjištění plochy vodorovné a svislé ocasní plochy**

Geometrické rozměry vodorovné ocasní plochy a jeho poloha vůči křídlu se vybírají tak aby letoun byl stabilní při přistání a všech režimech letu. Vodorovná ocasní plocha zajišťuje podélnou, svislou a spolu s křídlem příčnou rovnováhu a ovládání letounem. Vodorovná ocasní plocha se skládá z nepohyblivé části (stabilizátoru) a výškového kormidla.

Na základě toho posudku, můžeme udělat závěr, že zvětšení  $S_{s0}$  a  $S_{v0}$  dovoluje zmenšit délku ramen  $L_{s0}$  a  $L_{v0}$ , a také délku a váhu trupu. Z druhé strany, posun ocasní plochy na trupu umožňuje zmenšit jeho plochu a také i váhu ocasní plochy. To znamená, že náš úkol je výběr optimálních hodnot ploch  $S_{s0}$  a  $S_{v0}$ , ramen  $L_{s0}$  a  $L_{v0}$  zajišťujících potřebnou rovnováhu a ovládání letadla při nejmenší váze konstrukce.

Volba parametrů ocasních ploch se komplikuje i tím, že změna ploch (a také i váhy) ocasu, nebo změna délky jeho ramene, změní polohu těžiště letadla. A změna těžiště, znamená změnu účinnosti ocasní plochy.

Při zachování potřebné plochy ocasu tvar svislé ocasní plochy nemá zásadní vliv na aerodynamickou kvalitu a charakteristiku letounu. Tímto můžeme vysvětlit použití rozličných tvarů ocasních ploch.

### **Trup**

Trup slouží pro umístění pilotu, motoru, paliva, strojů, stabilizačního systému ovládání. S pohledu strukturální mechaniky je sílovým prvkem, který je citlivý na námahy ze všech částí letadla.

Největší pozornost je třeba věnovat otázkám rozmístění sedadel pilotu a systému ovládání.

Při umístění motoru ve předu trupu se těžiště letounu posune do předu aby těžiště zůstalo ve středu letadla musíme posunout kabinu pilota dozadu. V některých případech také opatření není dostačující. Tedy je třeba odmítnout nejvhodnější, s pohledu aerodynamiky, středovou polohu křídla a umístit je na horní nebo dolní části trupu.

Výhody použití horní polohy křídla jsou:

- zmenšení aerodynamického odporu od interferenčního součtu "křídlo-trup";
- zlepšení výhledu povrchu země z kabiny pilota;
- Zajištění možnosti instalace motoru na křídle a použití schématu Parasol křídlo.

K nevýhodám horní polohy křídla můžeme uvést menší účinnost svislé ocasní plochy na velkých úhlech náběhu křídla, kdy ocasní plocha padá ve stejný průtok jak křídla.

Při dolní poloze křídla se zajišťuje možnost přidání k němu podvozku. O něco se zmenší váha trupu, protože váha pilota a motoru se rozmístí na křídlo.

Je třeba si uvědomit, že při dolní poloze křídla zvětšuje se koeficient zvedací síly křídla letounu a význam aerodynamické kvality křídla na etapách vzletu a přistání. V některých případech to hraje negativní roli protože se zvětšuje přistávací dráhu.

V některých případech v roli ocasní části trupu může být použita duralová roura nebo roura, která je vyrobená z kompozitních materiálů.

Na letounech můžeme použít podvozek s přední podpěrou, zadní podpěrou, cyklistického typu a jednokolové. Nejvhodnějším je podvozek s nosním kolem. Hlavní výhodou jsou:

- vysoká stabilita na rozběhu a jízdě po ranveji
- nízké riziko převrácení se letounu
- možnost ovládní na rozběhu a jízdě po ranveji na úkor otočení předního kola.

Možnosti použití jiných podvozků: Například, při potřebě ztlumení frekvence otáčení vrtule reduktorem jeho průměr může být dost velký a využití předového podvozku by vyžadovalo značnou výšku vzpěr podvozku. V takovém případě je účelně použít podvozek s ocasní podpěrou. Také je třeba brát do úvahy okolnost, že náhodná odchylka osy letadla na rozběhu nebo jízdě po ranveji doprava či doleva bude způsobovat jeho otáčení do té samé strany. To znamená, že letadlo s takovým uspořádáním podvozku na rozběhu a jízdě po ranveji, není stabilní a potřebuje zkušeného pilota.

Použití cyklistického schématu podvozku může být nahrazeno jen vysokou polohou křídla, ale v takovém případě je třeba dát přednost předovému podvozku.

Podvozek s jednou podpěrou může být používán na kluzácích a letadlech poháněných lidskou silou.

Z výše uvedeného se nejvíce vyhovující jeví použití předového podvozku.<sup>55</sup>

---

<sup>55</sup> ЧУМАК П.И., КРИВОКРЫСЕНКО В.Ф. *Расчет, проектирование и постройка сверхлегких самолетов*. Москва: Патриот, 1991, ISBN 5-7030-0224-9

Z teoretické části návrhů letadla můžeme usoudit, že pro ultralehký letoun nejlepší konstrukční řešení je následující:

**Materiál** celého trupu, křídel a ocasní svislé a vodorovné plochy bude kompozit.

Výhody:

- pevný,
- trvanlivý,
- tvárný,
- možnost odlit chybějící či poškozenou součásti
- nepotřebuje povrchové úpravy
- odolný proti vlhkosti
- žáruvzdorný

Nevýhodami jsou:

- je třeba odlit celou součást, a ne chybějící kus

### **Pohon**

Použijeme motor s ventilátorovým propulsorem poháněným klasickým pístovým motorem. Z nabídky pístových motorů jsme kvůli malým rozměrům a nízké hmotnosti zvolili jeden z nejvýkonnějších motocyklových motorů - Kawasaki Ninja H2R 2017. S jeho parametry můžeme se seznámit v příloze.

Tento nekonvenční pohon je v ultralehké kategorii letounů zcela unikátní. Protože ventilátor je poháněn sériově vyráběným motocyklovým motorem. Součástí výstupní proudové cesty je obtok, ve kterém jsou umístěny chladiče motoru.<sup>56</sup>

### **Křídlo**

Tvar křídla ponecháme stejné jak u UL-39 Albi. Je to vhodný tvar pro použití kompozitu, protože jejich konstrukce se skládá z jednoho celku (komponentu). Klapky použijeme Fowlerovy. Charakterizují se tím že, klapka se vysouvá z křídla, a tím zvyšuje tažnou sílu nejen kvůli zvětšení křivosti profilu, ale i kvůli zvětšení plochy křídla. Umístění křídla pro ultratenký letoun, jak bylo zmíněno výše, je nejlepší v spodní části trupu, protože je možné v nich umístit podvozek, což by nám vyhovovalo a snížilo by váhu letounu.

Při přidání nového výkonnějšího motoru, který by potřeboval větší zásobu paliva, museli bychom počítat se zvýšenou vzletovou váhou letadla, což by mohlo vynutit zvětšení rozpětí křídel a také jejich plochy.

Ocasní plocha by zůstala v stejném tvaru a jeho umístění jak u UL-39 Albi.

---

<sup>56</sup> ILICH, Zdeněk. *Příspěvek: Dmychadlový pohon pro ultralehký letoun – CFD analýza výstupního kanálu* [online]. MAGAZÍN LETIŠTĚ České republiky ©2017. [cit. 2017-08-04] Dostupný z: <<http://www.letiste.cz/data/files/2558.pdf>>

**Podvozek.**

Podvozek necháme stejný, jak má letoun Albi. V podstatě kvůli tomu druhu podvozku a jeho nepopíratelných pozitivních vlastnostech jsme vybrali umístění křídla na trupu letadla.

## 5.Závěr

V naší práci jsme mohli sledovat vývoj letounu od jeho skromných začátku až do dnešního dne. Je udivující že člověku se podařilo za období sto let udělat tak obrovský krok vpřed.

Snažili jsme se přiblížit nejvíc průlomové objevy a technické řešení, které tvoří základ dnešního letectví. Určitě k takým vynálezům patřilo použití dnes už pro nás samozřejmé konstrukce jednoplošníku. Třeba připomenout, že v období první světové války za nejdokonalejší letadla byli považované dvouplošníky, případně trojplošníky. Dalším zásadním krokem bylo zavedení jiných materiálu než jen kovy a příhodné látky jakými jsou dřevo a plátno. Rozvoj v oblasti moderních, lehkých a pevných materiálů nám otevírá nové možnosti v oblasti leteckých konstrukci. V neposlední řadě velkým skokem vpřed byl vynález tryskových motoru. Či už šlo o proudový, dvouproudový, turbovrtulový nebo raketový motor každý přinesl pokrok v moderní vědě a do dnes jsou všechny používané v různých odvětvích letecké případně kosmické dopravy.

Na základě moderních trendu v oblasti konstrukce cvičných letadel jsme se pokusili o návrh ultra lehkého letounu. Letounu, který by mohl mít lepší parametry (díky použití silnějšího motoru) než už existující letoun Albi. Brali jsme v do úvahy různé alternativní konstrukce a snažili se vybrat nejvíce vyhovující technická řešení.

Věříme, že tato práce byla pro čitatele (stejně jak pro nás) fascinující pouti po světě letecké techniky, její historie a budoucnosti.



## Seznam použitých značek a symbolů

$C_y$  - součinitel vztlaku

$g$  - gravitační zrychlení

$G$  - vzletová váha

$L_{s0}$  - rameno svislé ocasní plochy

$L_{v0}$  - rameno vodorovné ocasní plochy

$M_e$  - váha prázdného letadla

$M_{tow}$  - vzletová váha

$P$  - výkon vrtulového motoru

$S$  - plocha křídla

$S_{s0}$  - plocha svislé ocasní plochy

$S_{v0}$  - plocha vodorovné ocasní plochy

$T$  - výkon proudového motoru

$v_{max}$  - maximální rychlost

$v_{s0}$  - padací rychlost

$\lambda$  - štiřlost křídla

## Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] NEEDMAN J. *Science and civilisation in China*. Cambridge, 1965
- [2] *Library of Congress*. J. Chapman Collection.
- [3] SARKUS J.E. *Dictionnaire encyclopedique de bibliographie Arabe*. Kairo, 1930. Vol. 11.
- [4] WILLIAM OF MALMESBURY. *Chronicle of the King of England*. London, 1847. Bk. 2.
- [5] HART C. *The dream of flight. Aeronautics from Classical Times to the Renaissance*. London, 1972
- [6] *Памятники древней письменности*. Т. 31. Санкт-Петербург, 1889
- [7] СОБОЛЕВ Д.А. *История самолетов. Начальный период*. Москва: Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 1995. 177-178 с. ISBN 5-86004-023-7
- [8] *The papers of Wilbur and Orville Wright*. New-York -Toronto - London, 1953
- [9] ШАВРОВ В.Б. *История конструкции самолетов в СССР до 1938 г.* Москва: Машиностроение, 1978
- [10] СМИРНОВ И. Моноплан "Этрих 1910". *Вестник воздухоплавания*. 1910. 15. С. 11-13
- [11] Крейсон П.М. *Самолеты за 20 лет*. Ленинград: Ленинград, 1934
- [12] *Справочник по иностранным самолетам*. Москва: ЦАГИ, 1939
- [13] ЮРЬЕВ Б.Н. *Экспериментальная аэродинамика*. Том 2. Москва, Ленинград: ОБОРОНГИЗ, 1938
- [14] ШИРМАНОВ П.М. *Атлас аэродинамических характеристик авиационных профилей*. Москва: ОНТИ НКТП СССР, 1932
- [15] *Справочник авиаконструктора*. Том 1. Москва: ЦАГИ, 1937
- [16] WOLKO H.S. *In the cause of flight. Technologists of aeronautics and astronautics*. Washington, 1981

- [17] НОВОКШОНОВ Ю.И. *Развитие исследований и методов расчета устойчивости и управляемости самолетов*. Диссертация кандидата технических наук. Москва: ИИЕТ, 1957
- [18] JONES M. *The streamline aeroplane*. London, 1929
- [19] MILLER R., SAWERS D. *The technical development of modern aviation*. London, 1968
- [20] ЛЕВИН М.А. *Развитие способов изменения геометрии крыла*. Диссертация кандидата технических наук. Москва: ИИЕТ, 1982
- [21] *Самолетостроение в СССР*. Книга 1. Москва, 1994
- [22] SMITH J. Origin of species. *Aeroplane*. 20.12.1946
- [23] LOFTIN L. *Quest for performance*. Washington, 1985
- [24] WISSMANN G. *Geschichte der Luftfahrt von Ikarus bis zur Gegenwart*. Berlin. 1966
- [25] ILICH, Zdeněk. *Příspěvek: Dmychadlový pohon pro ultralehký letoun – CFD analýza výstupního kanálu* [online]. MAGAZÍN LETIŠTĚ České republiky ©2017. [cit. 2017-08-04] Dostupný z: <<http://www.letistecr.cz/data/files/2558.pdf>>
- [26] ЧУМАК П.И., КРИВОКРЫСЕНКО В.Ф. *Расчет, проектирование и постройка сверхлегких самолетов*. Москва: Патриот, 1991, ISBN 5-7030-0224-9
- [27] D.H. MIDDLETON. *Composite materials in aircraft structures*. New York: Longman Group UK Limited, 1990. ISBN 0-582-01712-2
- [28] LÜDKE, Alexander. *Vojenská technika druhé světové války*. Vydání první. Slovart 2003. ISBN 978-80-7391-207-9
- [29] KOCÁB, Jindřich, ADAMEC Josef. *Letadlové motory*. Praha: KANT s.r.o., 2000. ISBN 80-902914-0-6
- [30] *Kawasaki Ninja H2R 2017*. [online]. PRIMotorbike.com, ©2017.[cit. 2017-08-04]. Dostupné z: <<https://www.primotorbike.com/kawasaki-ninja-h2r-2017-e60920.htm>>
- [31] CHANT Christopher. *Moderní letecké technologie. Přemožitelé rekordů*. Praha: Vaclav Svojk 1998. ISBN 80-7237-172-X

- [32] PAVLŮSEK, Alois. *Sportovní a cvičná letadla*. Brno: CPress, 2016, ISBN 978-80-264-1146-8

# Seznam grafů a tabulek

## Seznam grafů:

Graf 1. - Poměr prázdné hmotnosti letounu k maximální vzletové v závislosti na maximální vzletové hmotnosti.

Graf 2. - Závislost poměru výkonu k vaze vzletové s plošným zatížením u vrtulových letadel

Graf 3. - Závislost poměru výkonu k vaze vzletové s plošným zatížením u proudových letadel

Graf 4. - Poměr maximální rychlosti k padací rychlosti v závislosti na poměru výkonu k vaze vzletové u vrtulových letadel

Graf 5. - Poměr maximální rychlosti k padací rychlosti v závislosti na poměru výkonu k vaze vzletové u proudových letadel

Graf 6. - Závislost štíhlosti křídla na maximální vzletové váze.

## Seznam tabulek:

Tabulka 1. – Parametry motoru Kawasaki Ninja H2R 2017

# **Seznam příloh**

Příloha 1: Tabulka 1. - Parametry motoru Kawasaki Ninja H2R 2017

## Příloha č.1: Parametry motoru Kawasaki Ninja H2R 2017

Tabulka 1. - Parametry motoru Kawasaki Ninja H2R 2017<sup>57</sup>

Model	Ninja H2R
Typ motoru	Kapalinou chlazený, 4-taktní, čtyřválcový řadový, s kompresorem
Maximální úhel natočení	27° / 27°
Obsah	998 ccm
Vrtání x Zdvih	76 x 55 mm
Výkon	228 kW {310 PS} / 14.000 min
Maximální kroutící moment	165 N•m {16,8 kgf•m} / 12.500 min
Palivový systém	Vstřikování paliva: Ø 50 mm x 4 s duálním vstřikováním
Převodovka	6 rychlostí, dog-ring
Spojka	Mokrá lamela, manuální
Rám	Příhradový, vysokopevnostní ocel s montážní deskou na kyvné vidlici
Rozvor kol	1.450 mm
Přední odpružení	43 mm obrácená vidlice s nastavitelným odskokem, komprese a předpětím pružiny
Zdvih na předním kole	120 mm
Přední brzda	Plovoucí kotouče 330 mm. Čtyřpístový radiální třmen, monoblok Brembo M50.
Přední pneu	120/600 R17
Zadní pneu	190/650 R17
Objem palivové nádrže	17 litrů
Délka x Šířka x Výška	2.070 x 850 x 1160 mm
Mazání	Tlakové mazání, mokrá kliková skříň s olejovým chladičem
Rok výroby	2017
Sekundární pohon	Utěsněný řetěz
Startování	elektrický

<sup>57</sup> Kawasaki Ninja H2R 2017. [online]. PRIMotorbike.com, ©2017.[cit. 2017-08-04]. Dostupné z: <<https://www.primotorbike.com/kawasaki-ninja-h2r-2017-e60920.htm>>

Světlá výška	130 mm
Ventilový rozvod	DOHC, 16 ventilů
Výkon s RAM Air	240 kW {326 PS} / 14.000 min
Zadní brzda	250 mm kotouč. Třmen: Brembo 2 pístový
Zdvih na zadním kole	135 mm