

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

LETOVÉ VÝKONY SOUTĚŽNÍCH RC KLUZÁKŮ FLIGHT PERFORMANCE OF RC GLIDERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ HÁJEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAN PEJCHAR

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tomáš Hájek

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:

Letové výkony soutěžních RC kluzáků

v anglickém jazyce:

Flight performance of racing RC gliders

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Letové výkony letounů patří obecně mezi faktory, které rozhodují o tom, jak se danému letounu bude dařit na konkurenčním trhu. Letové výkony lze predikovat aerodynamickými výpočty, které je ovšem nezbytné validovat letovými měřeními.

Bakalář ve svojí závěrečné práci, pro vybranou soutěžní kategorii rádiem řízených kluzáků F3K, vyhodnotí požadavky a omezení vyplývající z pravidel dané kategorie a definuje množinu podstatných veličin letových výkonů. Zpracuje metodiku zkoušek ke stanovení vybraných letových výkonů. Jako přípravu k letovým měřením vybere aplikační požadavky měřících senzorů s ohledem na jejich miniaturizaci a přesnost.

Cíle bakalářské práce:

Definujte kategorii F3K, rádiem řízené kluzáky, dle mezinárodní specifikace FAI. Vyhodnoťte jednotlivé letové režimy kluzáku a vyberte podstatné výkonnostní charakteristiky. Stanovte způsob určení těchto charakteristik pomocí letových měření a vypracujte ucelenou metodiku zkoušek. Pro dané zkoušky vyberte měřící senzory, navrhnete jejich umístění a způsob vyhodnocování naměřených dat.

Seznam odborné literatury:

[1] DANEK. Mechanika letu I: Letove vykony. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2010. ISBN 9788072046591.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Pejchar

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 23.11.2012

L.S.

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

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

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá letovými výkony rádiem řízených kluzáků kategorie F3K. Je zde uvedena charakteristika soutěžních letových úloh a charakteristika jednotlivých letových režimů. V práci jsou uvedeny důležité výkonnostní charakteristiky modelu a vypracovaná metodika pro jejich měření.

Summary

Bachelor thesis is about flight performance of category F3K, radio-controlled gliders. It has list of flight tasks performed during competition and characteristics of different flight modes. The paper presents important performance characteristics and the methodology for their measurement.

Klíčová slova

Letová zkouška, Letové výkony, kluzák kategorie F3K, Metodika měření.

Keywords

Flight test, Flight performance, Category F3K, Measurement methodology,

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně na základě konzultací s vedoucím práce s použitím odborné literatury a zdrojů uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Tomáš Hájek

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Pejcharovi za jeho vstřícný přístup, cenné rady a věcné připomínky při vypracování bakalářské práce. Dále bych touto cestou rád poděkoval rodičům za jejich podporu v průběhu studia.

Tomáš Hájek

Obsah

1 Úvod	3
2 Definice kategorie F3K, rádiem řízené kluzáky	4
2.1 Specifikace kluzáků F3K dle FAI	4
2.2 Charakteristické parametry kluzáků kategorie F3K	5
2.3 Konstrukce kluzáků	7
2.3.1 Křídlo	7
2.3.2 Trup	7
2.3.3 Ocasní plochy	8
2.4 Letové úlohy kategorie F3K	9
3 Letové režimy	10
3.1 Definice pojmů	10
3.2 Letové charakteristiky fází letu	10
3.2.1 Start	10
3.2.2 Kluz	11
3.2.3 Termika	11
4 Letová měření - teorie	13
4.1 Úvod:	13
4.2 Rozdělení letových zkoušek	13
4.3 Obecný postup při letových zkouškách	13
4.4 Výkonnostní charakteristiky kluzáků	14
4.4.1 Měření rychlosti letu:	15
4.4.2 Měření klesací rychlosti:	16
4.5 Senzorické vybavení	16
4.5.1 Požadavky na měřicí přístroje	17
5 Metodika měření	18
5.1 Úvod	18
5.2 Cíle	18
5.3 Obálka měřených případů	18
5.4 Navrhované přístrojové vybavení	20
5.5 Průběh letu - postup měření	21
5.6 Definice ustáleného letu	22
5.7 Časová rozvaha	22
5.8 Vybavení pozemní obsluhy	22
5.9 Protokol o měření	23
5.10 Způsob vyhodnocení	23
5.10.1 Protokol výsledných dat	24
5.10.2 Nalezení režimů K_{max} a w_{min}	25

6	Měření	26
6.1	Model F3K pro letové zkoušky - FW5 Flow	26
6.2	Integrace použitých přístrojů	26
6.3	Stanovení opravy pitot-statického systému	27
6.4	Experimentální ověření navrhované metodiky	30
7	Náhradní metodika měření	31
7.1	Navrhované přístrojové vybavení	31
7.2	Integrace použitých přístrojů	32
7.3	Průběh letu - postup měření	32
7.4	Způsob vyhodnocení	32
	7.4.1 Protokol výsledných dat	33
	7.4.2 Nalezení režimů K_{max} a w_{min}	33
8	Závěr	34
9	Seznam použitých zkratk a symbolů	36

1. Úvod

Kategorie rádiem řízených kluzáků F3K je specifická pro způsob startu modelu hodem z otočky. Na konstrukci soutěžního kluzáku jsou kladeny vysoké nároky nejen z hlediska pevnosti konstrukce, ale i z hlediska letových výkonů.

Stejně jako soutěžní větroně se i modely větroňů aerodynamicky optimalizují k co největším letovým výkonům. K ověření softwarově vypočítaných hodnot slouží letová měření. Získaná data z měření lze korelovat s aerodynamickým výpočtem a nakalibrovat tak výpočetní software.

Proto je třeba kluzák podrobit letovým zkouškám pro verifikaci aerodynamických výpočtů prováděných při jeho návrhu.

Práce specifikuje kategorii kluzáků F3K dle pravidel FAI, stejně tak jednotlivé letové úlohy pro soutěžní létání. Následuje stručný přehled používaných materiálů a typů konstrukcí.

V dalších kapitolách se práce zabývá určením charakteristických vlastností a parametrů kluzáku kategorie F3K. Určením charakteristických letových režimů během soutěžního létání a omezení vyplývajících z pravidel FAI.

Závěrečná část práce obsahuje metodiku letové zkoušky pro nalezení charakteristických režimů, určení potřebných veličin pro stanovení letových výkonů v daném letovém režimu, určení vhodných senzorů pro měření jednotlivých veličin a následně způsob vyhodnocení získaného souboru dat.

2. Definice kategorie F3K, rádiem řízené kluzáky

Kategorie F3K je mezinárodním řádem CIAM a FAI (*Commission Internationale Aeromodelling* a *Fédération Aéronautique Internationale*) určena pro rádiem řízené kluzáky startované hodem z otočky. Start kluzáku spočívá v uchopení modelu pilotem za konec křídla a následnou rotací pilota i modelu o 360°.

Při soutěžním létání se hodnotí maximální letový čas, popřípadě přesný časový úsek (viz kap.2.4), který je pilot schopen zaletět. Hodnotí se body dle základního klíče, jedna sekunda rovná se jeden bod.

Samotný hod se vlastní mechanikou přibližuje hodu diskem. Pilot model uchopí za konec křídla, kde je umístěn házecí kolík a provede otočku o 360°, po celou dobu otočky je model urychlován a následně vypuštěn.

Z důvodu vysokých rychlostí a zrychlení je model zvláště na konci hodu extrémně namáhán. Celá konstrukce se tedy dimenzuje na zatížení působící na model během startu.

2.1. Specifikace kluzáků F3K dle FAI

Modely kategorie F3K jsou definovány následujícími omezeními [12, Pravidla F3K, str. 25]:

- Maximální rozpětí je 1500 mm.
- Maximální hmotnost je 600 g.
- Použití gyroskopu a variometru je zakázáno.
- Model kluzáku smí být opatřen otvory, kolíky nebo vyztužením, které dovolí lepší uchopení modelu rukou. Kolíky musí být tuhé, musí být neoddělitelnou součástí modelu v rozsahu polorozpětí křídla a nesmí být vysouvatelné ani zatažitelné. Zařízení, která nezůstanou součástí modelu při vzletu a po něm, jsou zakázány.
- Poloměr špičky modelu musí být alespoň 5 mm ve všech směrech.
- Model kluzáku musí být házen rukou a řízen rádiovým zařízením působícím na neomezený počet ploch.

2.2. Charakteristické parametry kluzáků kategorie F3K

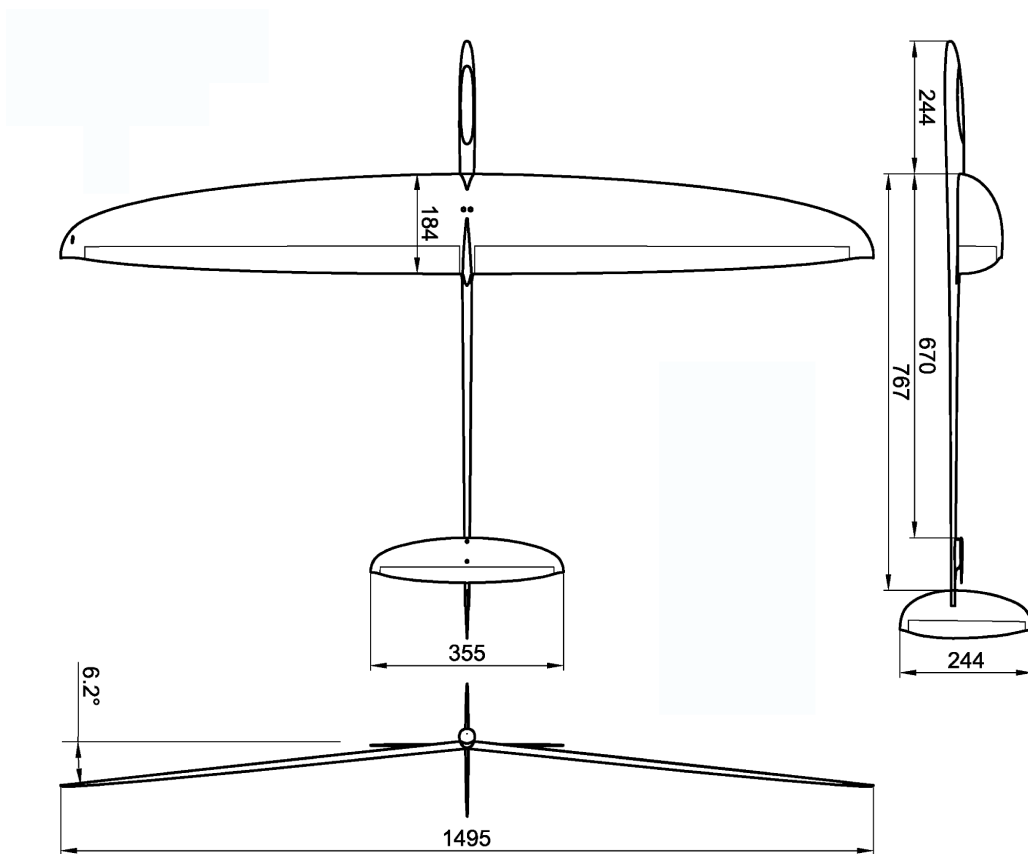
Díky omezením vyplývajícím z pravidel a charakteru jednotlivých letových úloh (viz kap. 2.4), vývoj nových typů F3K kluzáků směřuje ke stejnému cíli, k letounu s následujícími parametry:

Technické parametry

- rozpětí křídla 1500 *mm*
- plocha 21–23 *dm*³
- váha 230–320 *g*
- vzepětí křídel 3–8°
- plošné zatížení 11,0–17,8

Výkonové parametry

- klouzavost 14–20 [*g/dm*²]
- opadání 0,3–0,5 *ms*⁻¹
- rychlost letu 3–9 *ms*⁻¹



Obrázek 2.1: Tvary a rozměry běžného kluzáku kategorie F3K [4].

2.2. CHARAKTERISTICKÉ PARAMETRY KLUZÁKŮ KATEGORIE F3K

Tabulka 2.1: Statistický přehled základních parametrů F3K kluzáků ([5], [4], [7], [9], [10], [11])

Model	Hmotnost [g]	Zatížení [g/dm ²]	Křídlo					
			Rozpětí [m]	Hloubka u kořene [mm]	Plocha [dm ²]	Štíhlost	Vzepětí [°]	Profil
Fireworks 3	260–300	12,1–13,9	1500,0	183,0	21,6	10,44	3,5	AG02f–455
Fireworks 4	260–330	12,1–13,9	1500,0	183,0	21,6	10,44	7,0	AG02f–455
FW5 Flow	255–285	11,4–12,7	1500,0	190,0	22,4		6,5	Zone 52–21
SALpeter	245–265	11,0–11,9	1495,0	184,0	22,2	10,10	6,2	AH160–9
Sirius 2009	260–310	11,1–13,2	1496,0		23,4			HM51
Steigeisen	260–290	12,6–14	1494,0	168,0	20,7	10,78	5,0	WO–322
SuperGee II	227,0	10,5	1498,6	183,0	21,7	10,36	6,5	AG02f–455
Stobel V2	240–320	11,3–15,9	1498,0	174,0	21,2	10,6	6	LE7219
Blaster 3	240–270	10,5–17,8	1490,0	190,0	22,9	9,77	6,5	AG45
Concept X	255–310	11,1–13,6	1500,0	186,0	22,8	9,99	6	
Brko	270–300	11,8–13,2	1499,0	192,0	22,8		7	

2.3. Konstrukce kluzáků

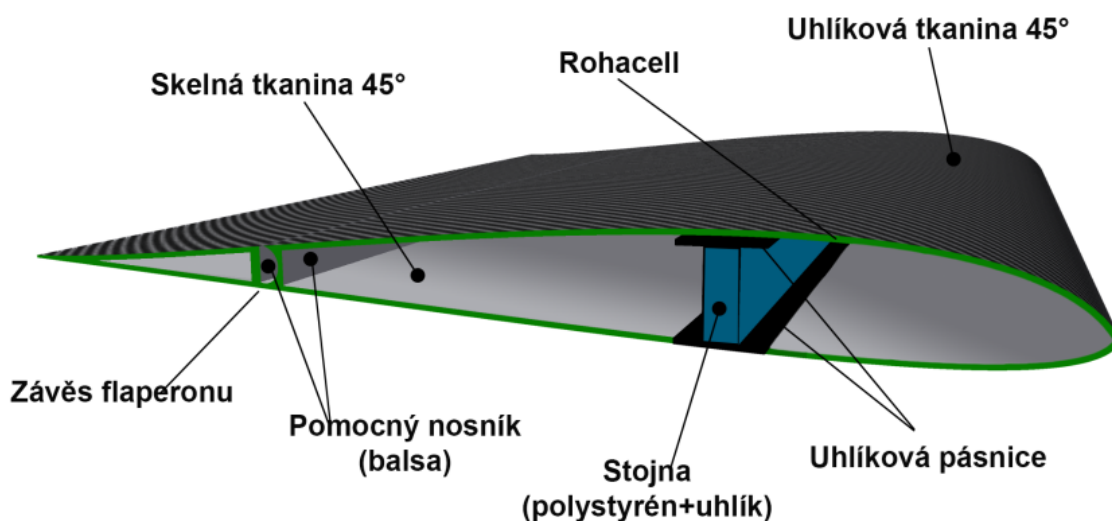
Modely jsou převážně vyráběny laminováním do negativních forem. Použitím nejmodernějších materiálů celá konstrukce dosahuje vysoké pevnosti, tuhosti a zároveň nízké váhy.

2.3.1. Křídlo

Konstrukce křídel nejčastěji využívají jednonosníkové skořepinové konstrukce nebo dvou-nosníkové skořepinové konstrukce.

Používané materiály:

- svrchní vrstva: skelná tkanina $17-23 \text{ gm}^{-2}$ (45°), uhlíková tkanina $55-68 \text{ gm}^{-2}$ (45°), uhlíková jednosměrná tkanina $\pm 30^\circ$
- sendvičové jádro: herex, rohacel
- vnitřní vrstva skelná tkanina $17-23 \text{ gm}^{-2}$ (45°), uhlíková tkanina $55-68 \text{ gm}^{-2}$ (45°), uhlíkový vlies



Obrázek 2.2: Skladba materiálu křídla [7].

2.3.2. Trup

Trupy kluzáků kategorie F3K se obvykle vyrábí laminováním do negativní formy. Často je využívána technologie vytvrzování pod tlakem. Uvnitř dutiny trupu je umístěn pružný balónek natlakovaný na 3 bar.

Používané materiály:

- v zadní části trupu se obvykle používá kombinace jednosměrné uhlíkové tkaniny 0° a uhlíkové tkaniny (45°)
- v přední části trupu se používají skelné nebo aramidové tkaniny $\pm 45^\circ$ pro jejich vlastnost nestínění 2,4GHz signálu

2.3. KONSTRUKCE KLUZÁKŮ

2.3.3. Ocasní plochy

Taktěž ocasní plochy se vyrábějí laminováním do negativních forem s pozitivním jádrem.

Používané materiály:

- pozitivní jádro: herex, rohacel
- vrchní vrstva: skelná tkanina 17-23 gm^{-2} 45°, uhlíkový vlies



Obrázek 2.3: Ocasní plochy modelu FW5 Flow.

2.4. Letové úlohy kategorie F3K

Letových úloh je pravidly určeno deset. Každá letová úloha se po skončení hodnotí body za nejdější let resp. za časovou přesnost letu. Dle úlohy má závodník omezený nebo neomezený počet startovních pokusů, které musí stihnout v letovém okně - pracovním čase, který je dle úlohy 7 nebo 10 min.

Definice úloh [12]

Úloha A (Poslední let): Pracovní čas 7 nebo 10 min, přičemž závodník má neomezený počet počet letů. Maximální délka letu je 300 s. Jako výsledný čas se počítá pouze poslední pokus.

Úloha B (Poslední a předposlední let): Tato úloha je stejná jako úloha A s tím rozdílem, že jako výsledek se bere součet časů posledního a předposledního letu.

Úloha C (Všichni nahoru, poslední dolů): Jedná se o tři lety. Závodníci startují všichni naráz v rozmezí 3 sekund. Maximální čas pro jeden let je 180 s. Výsledek je součet všech tří časů.

Úloha D (Vzrůstající časy po 15 sekundách): Každý soutěžící má neomezený počet pokusů pro jednotlivé cílové časy. Jakmile soutěžící dosáhne jednoho cílového času, každý další se navyšuje o 15 sekund. Cílové časy začínají na 30 a končí na 120 sekundách (30,45,60,...,120 s). Pro výsledek se bere součet všech dosažených cílových časů. Pracovní čas je 10 min.

Úloha E (Poker – různé cílové časy): Před prvním vzletem soutěžící oznámí svůj cílový čas časoměřiči. Nový cílový čas může nahlásit až po splnění předchozího času. V průběhu kola může oznámit pět cílových časů, ty se po splnění sčítají do výsledného času. Pracovní čas je 10 min.

Úloha F (tři ze šesti): Závodník může v daném kole uskutečnit 6 letů. Pro výsledný čas se bere součet tří nejdějších. Maximální doba letu je 180 s. Pracovní čas je 10 min.

Úloha G (Pět nejdějších letů): Závodník má neomezený počet letů. Výsledek se počítá ze součtu pěti nejlepších. Maximální letový čas 120 s, pracovní čas 10 min.

Úloha H (Lety jedna, dvě, tři, čtyři minuty): Zde jsou cílové čtyři časy (60,120,180,240 sekund). Závodník má neomezené množství pokusů a pracovní čas 10 min. Výsledek se bere ze čtyř nejlepších časů, které se přiřadí jednotlivým cílovým časům. Sekundy přesahující cílový čas se neuvažují.

Úloha I (Tři nejdější lety): Závodník má neomezené množství startů. Maximální letový čas je 200 s. Výsledek je součtem tří nejlepších pokusů. Pracovní čas je 10 min.

Úloha J (Tři poslední lety): Závodník má neomezené množství startů. Maximální letový čas je 180 s. Výsledek je součtem posledních tří pokusů. Pracovní čas je 10 min.

3. Letové režimy

Mechanizace odtokové hrany křídla je obvykle prováděna pomocí flaperonu. Polohováním flaperonu lze zakřivovat profil křídla modelu respektive měnit letový projev letounu a uvádět jej do charakteristických letových režimů. Vychýlení flaperonu na hodnotu $+40^\circ$ a více se používá při přistání, kde flaperon plní funkci aerodynamické brzdy.

3.1. Definice pojmů

letová fáze - jedná se o určitou konfiguraci ovládacích ploch kluzáku, která je využívána pro uvedení modelu do potřebného režimu letu

režim letu - jedná se o místo poláry, na kterém se model nachází v určité letové fázi

3.2. Letové charakteristiky fází letu

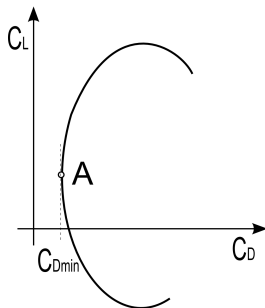
Charakteristický let se vyznačuje ustáleným pořadím použitých fází letu. Po hodu model stoupá v režimu minimálního odporu, poté přechází do režimu maximální klouzavosti. V momentě nalezení stoupavého proudu model přechází do režimu minimálního opadání. Po splnění letové úlohy probíhá přiblížení na přistání opět v režimu maximální klouzavosti a samotné přistání je v režimu, kde flaperon plní funkci aerodynamické brzdy.

3.2.1. Start



Obrázek 3.1: Konfigurace profilu křídla v letové fázi start, flaperon vychýlen o 2° směrem nahoru (profil AG455ct [5]).

Po vypuštění má model rychlost až 40 ms^{-1} a tedy vysokou kinetickou energii, kterou přeměňuje na energii potenciální. K minimalizaci ztrát během stoupání se využívá režimu letu s minimálním odporem, který je na poláře charakterizován bodem A (obrázek 3.2).



Obrázek 3.2: Režim minimálního odporu na poláře letounu [1, Daněk, str. 143]

3.2.2. Kluz

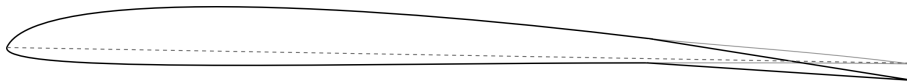


Obrázek 3.3: Konfigurace profilu křídla v letové fázi kluz, flaperon vychýlen o 0° (profil AG455ct [5]).

Do letové fáze kluz model přechází již při stoupání, kdy rychlost letu klesne na přibližně na $6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Pokud model setrvá ve stoupavém letu déle, rychlost klesne pod rychlost pádu, model se „prosedne“ a ztratí získanou výšku.

V tomto letovém režimu model setrvává většinu letového času. Je snaha docílit minimálního úhlu klouzání $\bar{\gamma}_{min}$ (maximální klouzavosti $K_{max} = (C_L/C_D)_{max}$) (bod A obrázek 3.5). Vysoká klouzavost obecně umožňuje závodníkovi prodloužit trajektorii letu a zvyšuje pravděpodobnost nalezení stoupavého proudu.

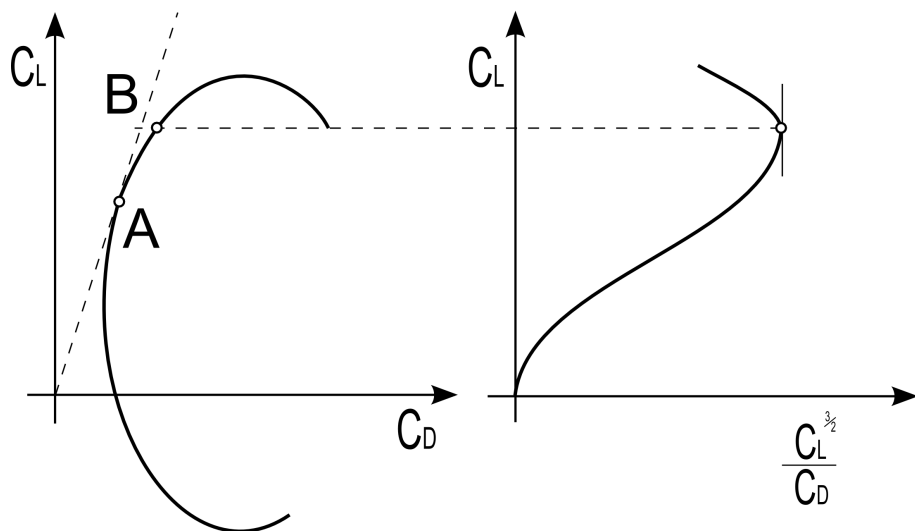
3.2.3. Termika



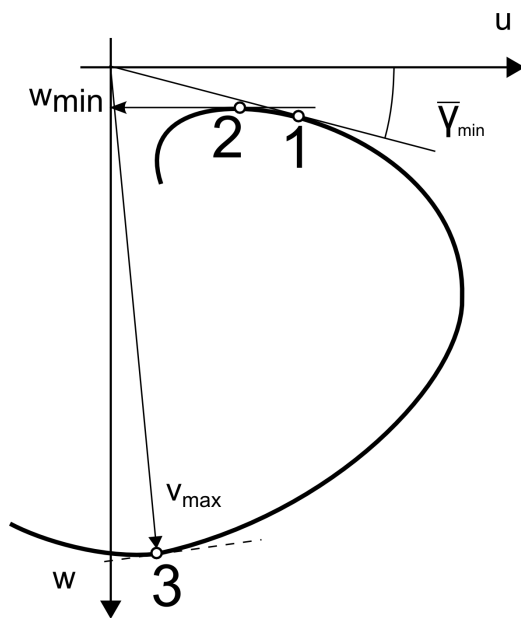
Obrázek 3.4: Konfigurace profilu křídla v letové fázi termika, flaperon vychýlen 3° směrem dolů (profil AG455ct [5]).

Letová fáze, termika, je zpravidla využívána po nalezení stoupavého proudu. V tomto letovém režimu je snaha držet model v režimu minimální klesací rychlosti (w_{min}), který přibližně odpovídá režimu minimálního potřebného výkonu (obrázek 3.2 bod B). Navzdory tomu, že úhel klouzání je vyšší a dopředná rychlost je menší (bod 2 obrázek 3.6) než u režimu maximálního kluzu (bod 1 obr. 3.6), je tento režim využíván pro let na vyšším součiniteli vztlaku C_L . Let na vyšším součiniteli vztlaku C_L umožňuje vyšší gradient stoupání při letu ve stoupavém proudu.

3.2. LETOVÉ CHARAKTERISTIKY FÁZÍ LETU



Obrázek 3.5: Režim minimálního úhlu klouzání a režim minimálního potřebného výkonu [1, Daněk, str. 93]



Obrázek 3.6: Neúplná rychlostní polára letounu s charakteristickými režimy letu [1, Daněk, str. 130]

4. Letová měření - teorie

4.1. Úvod:

Zkoušení letadel je rozsáhlým technickým oborem, jehož rozvoj je úzce spjat s rozvojem letectví. Samostatným vědním oborem se však zkoušení letadel stalo až ve dvacátých a třicátých letech dvacátého století, kdy byla sestavena teorie přepočtu naměřených hodnot na standardní podmínky a měření základních výkonů letounu. Další vývoj tento obor zaznamenal během druhé světové války a v následujících letech. Z původních jednoduchých měřících přístrojů byly vyvinuty přesné a komplikované měřící přístroje umožňující zápis a bezdrátový přenos dat. [3, str. 1]

4.2. Rozdělení letových zkoušek

Letová měření, respektive letové zkoušky, jsou neoddělitelnou součástí vývoje nového letounu. Letové zkoušky je možné rozdělit do základních kategorií [3, str. 2]:

Výzkumné zkoušky - ověřují základní představy o aerodynamice, mechanice letu, pevnosti letounu a konstrukce, dále ověřují funkce základní elektrické, hydraulické a další vybavy.

Prototypové zkoušky - ověřují požadované vlastnosti v závěrečné fázi vývoje prototypu.

Kontrolní zkoušky - ověřují a srovnávají vlastnosti sériově vyráběných letounů s výrobními prototypy.

Letové zkoušky se od běžných fyzikálně-technických zkoušek odlišují tím, že probíhají v nekontrolovaných podmínkách, které jsou v danou chvíli k dispozici. Z důvodu možnosti porovnání naměřených výsledků je třeba výsledky přepočítat na mezinárodní standardní atmosféru (MSA) - tzv. standardní podmínky. Také je třeba naměřené výsledky statisticky zpracovat z důvodu nestálosti atmosféry, která způsobuje rozptýlení výsledků.

4.3. Obecný postup při letových zkouškách

Postup používaný při prototypových zkouškách:

1. Předběžná příprava
 - zde probíhá základní seznámení se samotnou úlohou a vypracování přesného časového plánu.
2. Příprava před měřením
 - příprava před měřením zahrnuje výběr a instalaci měřících přístrojů, stanovení základních parametrů letounu (poloha těžiště, výchyly klapky).
3. Vlastní zkoušky

4.4. VÝKONNOSTNÍ CHARAKTERISTIKY KLUZÁKŮ

(a) Základní zkoušky

- základní zkoušky ověřují funkci motoru, výstroje a základní letové vlastnosti.

(b) Měřicí zkoušky

- stanovují hodnoty jednotlivých letových výkonů a měří letové vlastnosti.

4. Vyhodnocení výsledků

4.4. Výkonnostní charakteristiky kluzáků

Jak je zmíněno v kapitole 3, je snaha, aby se kluzák pohyboval pouze ve třech základních režimech letu (C_{dmin} ; K_{max} ; w_{min}). Správně seřízený model je schopen efektivně využít energii dodanou hodem a zároveň podává dobré výkony v režimu maximální klouzavosti a minimální klesací rychlosti.

- Součinitel odporu C_d [1, Daněk, str.50]

Z rovnice

$$D = C_d \frac{1}{2} \rho V^2 S \quad (4.1)$$

po úpravě vznikne rovnice:

$$C_d = \frac{2D}{\rho V^2 S} \quad (4.2)$$

Minimalizací rovnice 4.2 vznikne zápis:

$$C_{dmin} = \left(\frac{2D}{\rho V^2 S} \right)_{min} \quad (4.3)$$

Součinitel odporu je funkcí rychlosti, plochy a hustoty vzduchu z čehož vyplývá, že měření tohoto součinitele je možné pouze v kontrolovaném prostředí větrného tunelu.

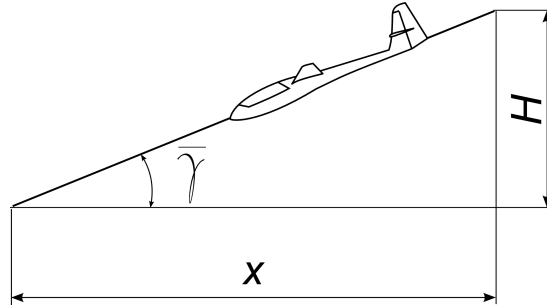
- Klouzavost K [1, Daněk, str. 125] Z rovnice

$$K = \frac{C_D}{C_L} = \frac{x}{H} \quad (4.4)$$

Maximalizací rovnice obdržíme režim K_{max}

$$K_{max} = \left(\frac{C_D}{C_L} = \frac{x}{H} \right)_{max} \quad (4.5)$$

Klouzavost se také dá vyjádřit jako poměr horizontální vzdálenosti x , kterou letoun uletěl z výšky H . Oba dva použité parametry jsou nezávislé na stavu atmosféry, ve které se letoun nachází a zároveň jejich měření není obtížné. Příkladem měření klouzavosti může být odečítání výšky z výškoměru po určitém časovém nebo vzdálenostním úseku (s výhodou se dá využít báze při měření rychlosti viz 4.4.1) při letu ustálenou rychlostí.



Obrázek 4.1: Uletěná vzdálenost x z výšky H pod klouzacím úhlem $\bar{\gamma}_{min}$.

- Minimální klesací rychlost w_{min}

Graficky lze režim minimální klesací rychlosti w_{min} znázornit na rychlostní poláře pomocí tečny vedené rovnoběžně s vodorovnou osou dopředné rychlosti u (viz. 3.6).

Klesací rychlost je veličina, která nepřímo udává dobu, po kterou může letoun setrvat v klouzavém letu. Tato veličina bývá označována jako rychlost opadání.

Z exaktního vztahu [1, Daněk, str. 128]:

$$w = -\frac{C_D}{C_R^A} \sqrt{\frac{2G}{C_R^A \rho S}} = -\frac{C_D}{(C_L^2 + C_D^2)^{\frac{3}{4}}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \left(\frac{G}{S}\right)} \quad (4.6)$$

Minimalizací získáme vztah:

$$w_{min} = -\left(\frac{C_D}{(C_L^2 + C_D^2)^{\frac{3}{4}}}\right)_{min} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \left(\frac{G}{S}\right)} \quad (4.7)$$

Z uvedeného vztahu je zřejmé, že minimální klesací rychlost je závislá na součiniteli odporu a vzlaku, zároveň i na hmotnosti, ploše a hustotě vzduchu.

4.4.1. Měření rychlosti letu:

Definice pojmů:

IAS - Indikovaná rychlost: je indikovaná přístrojová rychlost, opravená o chybu přístroje.

CAS - Kalibrovaná rychlost: je indikovaná rychlost IAS opravená o polohovou chybu pitot-statické trubice.

EAS - Ekvivalentní rychlost: je rychlost opravená o vliv stlačitelnosti vzduchu.

TAS - Pravá vzdušná rychlost: reálná rychlost letadla vůči okolnímu vzduchu.

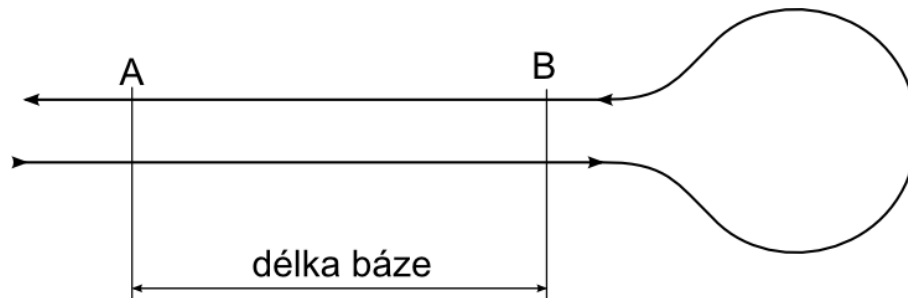
GS - Traťová rychlost: rychlost letounu vůči zemi.

Rychlost pohybu letounu lze měřit pitot-statickou trubicí umístěnou na takovém místě letounu, kde je nejmenší tlakové rozrušení od ostatních částí draku. Rychlost detekovaná pitot-statickým systémem opravená o přístrojovou chybu je rychlostí IAS.

Chyba přístroje je určována kalibračním přístrojem měřením na zemi. Tím je získána rychlost CAS. Kalibrace na rychlost TAS je prováděna například létáním na bázi. Bázi

4.5. SENZORICKÉ VYBAVENÍ

tvoří přímý úsek vhodné délky, na jehož koncích jsou pozorovatelé měřící čas průletu. Z důvodu omezení vlivu letu proti a po větru, letoun prolétává bázi dvakrát ustálenou rychlostí bez zásahu do řízení. Z uletěného času na známé vzdálenosti pak lze určit rychlost GS a opravu pitot-statického systému. Další možností je porovnání GS získanou ze záznamu GPS a rychlostí CAS.



Obrázek 4.2: Měření rychlosti na bázi [3, Daněk, str. 49]

4.4.2. Měření klesací rychlosti:

Uvedený vztah 4.7 nezahrnuje vliv pohybu atmosféry. Pro verifikaci výpočtů, z důvodů náročnosti, není vhodné počítat jednotlivé hodnoty v každém okamžiku, ale změřit průměrnou hodnotu za daný časový úsek. Například odečítáním výšky z údajů výškoměru po určitém časovém nebo vzdálenostním úseku. Klesací rychlost pak lze vypočítat ze vztahu:

$$w = \frac{H_1 - H_2}{t} \quad (4.8)$$

Kde t je doba trvání časového úseku jako např. doba průletu bází.

4.5. Senzorické vybavení

Měřicí přístroje jsou obecně zařízení citlivá na určitou fyzikální veličinu (např. teplota, tlak, apod.), jejíž velikost je pak převáděna na hodnotu, kterou lze odečíst (výchylka na ciferníku, číslo na display).

Při letových zkouškách, u kterých je nutnost dalšího rozboru naměřených dat, se využívá registračních přístrojů, které ukládají naměřená data v čase. Moderní měřicí přístroje měřenou veličinu převádějí na elektrický signál, který pak ukládají na paměťové médium.

4.5.1. Požadavky na měřicí přístroje

Přístroj vhodný pro letové zkoušky by měl splňovat tyto požadavky:

- nízká hmotnost a malé rozměry
- dostatečná přesnost resp. citlivost (přiměřená chyba měření způsobená chybou přístroje resp. přiměřeně malá změna měřené veličiny, na kterou je přístroj schopen reagovat)
- odolnost vůči rušivým vlivům (změna teploty, vlhkosti, odolnost proti vibracím, odolnost proti elektromagnetickému záření, změna vlastností přístroje s časem atp.), nebo schopnost jejich kompenzace
- snadná montáž a provoz přístroje
- konstrukce neovlivňující funkce ostatních přístrojů ani letové vlastnosti a charakteristiky letounu

5. Metodika měření

5.1. Úvod

V této kapitole se nachází metodika měření letových výkonů RC kluzáků kategorie F3K pomocí letové zkoušky. Letová zkouška je koncipována pro experimentální validaci aerodynamických výpočtů letových výkonů malých kluzáků.

Zkouška obsahuje dílčí lety zaměřené na zjištění reálných výkonů v určitých letových režimech definovaných v kapitole 3, tedy pro režim maximální klouzavosti K_{max} a režim minimální klesací rychlosti w_{min} (odpovídá režimu P_{min}).

Zkouška se nezabývá režimem minimálního odporu C_{Dmin} kvůli velké náročnosti jeho určení v nekontrolovaných podmínkách (viz. kap 4.4).

5.2. Cíle

Letová zkouška si klade za cíle:

- nalezení konfigurace pro režim K_{max}
- nalezení konfigurace pro režim w_{min}

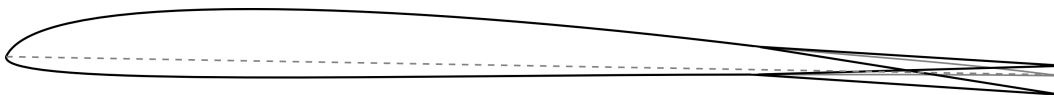
Výstupem zkoušky je funkční závislost $C_D/C_L = f(v)$ a $w = f(u)$ (rychlostní polára [1, Daněk, str. 130]) pro obálku měřených případů.

5.3. Obálka měřených případů

Klapková obálka letounu

Za účelem nalezení maximální klouzavosti a minimálního opadání je nutné získat funkční závislost $C_D/C_L = f(v)$ a $w = f(u)$ pro rozsah rychlostí, ve kterém leží maximum dané funkce.

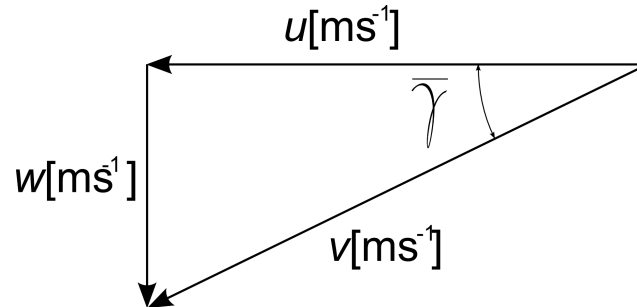
Dle poloh klapek pro letové fáze (kap. 3) je rozsah poloh od dvou stupňů směrem nahoru do pěti stupňů směrem dolů. S krokem mezi jednotlivými lety po jednom stupni se bude jednat o osm samostatných letových měření. Tento rozsah vychází z experimentálního ověření pro letouny této velikosti.



Obrázek 5.1: Grafické znázornění klapkové obálky (výchylka flaperonu 2° směrem nahoru a 3° směrem dolů).

Obálka rychlostí

K sestavení rychlostní poláry je obecně zapotřebí mít k dispozici rozsah údajů o klesací rychlosti w a o dopředné rychlosti u (GS). Z rychlostního trojúhelníku je vidět, že rychlost u je závislou veličinou rychlostí w a v (TAS).



Obrázek 5.2: Složky výsledné rychlosti při klouzavém letu

Kluzáky kategorie F3K se pohybují v rozsahu rychlostí od 3 do 9 ms^{-1} , v tomto rozsahu se nachází jak režim K_{max} tak režim w_{min} . Pro zkoušku je doporučen krok $\Delta v = 1ms^{-1}$ pro každou polohu flaperonu.

Přírůstek rychlostí je realizován polohováním VOP pomocí jednotlivých kroků subtrému.

Z výše uvedeného vyplývá, že je zapotřebí sedm rozdílných rychlostí pro jednu konfiguraci flaperonu.

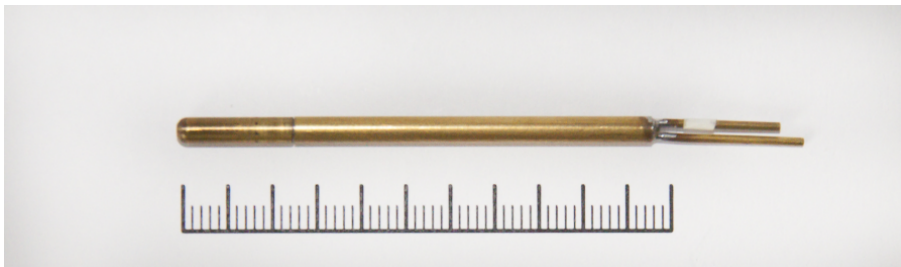
5.4. Navrhované přístrojové vybavení

Pitot-statická souprava

Pitot-statická souprava se využívá pro měření rychlosti. Fyzikální podstatou je měření rozdílu statického a dynamického tlaku za letu.

Technická specifikace pitot-statické trubice:

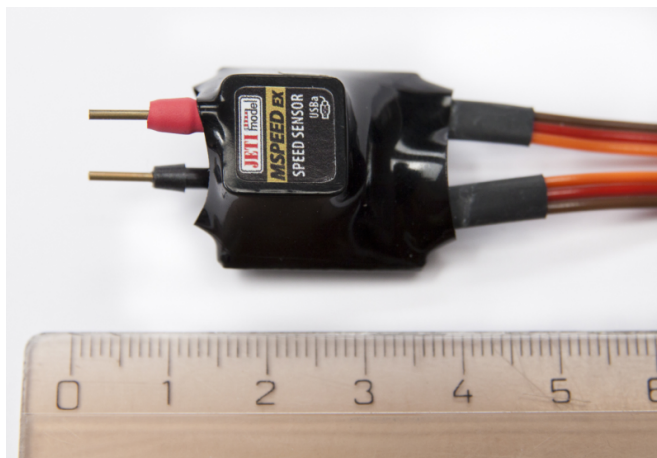
- průměr těla: 4mm
- průměr díra celkový tlak: 1mm
- průměr díry static. tlak: 1mm
- počet vstupů stat. tlaku: 4
- celková délka: 78mm
- vzdálenost od špičky k statickým portům: 18mm



Obrázek 5.3: Pitotova trubice

Technická specifikace senzoru MSPEED (viz. [8]):

- Rozměry-základny: 22x25x13mm
- Provozní teplota: 0-85°C
- Napájecí napětí: 3,5 - 8,4V
- Spotřeba: 10mA



Obrázek 5.4: Senzor mSpeed.

GPS logger

Využívá družicového systému GPS k určení polohy letounu.

Technické specifikace:

- Rozměry: 50x30x12,5 mm
- Provozní teplota: -20 do 85°C
- Napájecí napětí: 3,5 - 8,4 V
- Průměrná spotřeba: 40 mA
- Maximální spotřeba: 100 mA

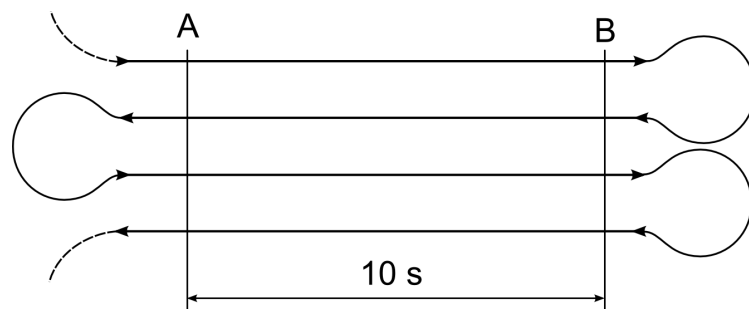


Obrázek 5.5: GPS logger

5.5. Průběh letu - postup měření

1. Předletová příprava. Kontrola funkčnosti řídicích ploch a činnosti všech systémů.
2. Nastavení konfigurace flaperonů pro dané měření.
3. Zahájení letu startem modelu hodem z otočky.
4. Srovnání směru letu rovnoběžně se směrem větru. Nejlépe nad terénní přímou linií pro dodržení přímosti letu (zpětná kontrola GPS).
5. Ustálení letu a setrvání v daném režimu minimálně 10 s.
6. Otočení směru letounu o 180°. Opakování bodů 4 a 5.
7. Opakování bodů 4 až 6.
8. Přistání. Zápis potřebných údajů do protokolu měření viz. kapitola ??.
9. Opakování celého postupu pro jednotlivé konfigurace flaperonu.

5.6. DEFINICE USTÁLENÉHO LETU



Obrázek 5.6: Doporučená trajektorie letu

5.6. Definice ustáleného letu

Za ustálený let je uvažován rovný úsek letu, rovnoběžný se směrem větru bez zásahu do řízení VOP trvající minimálně po dobu 10 s. Za tuto dobu model urazí vzdálenost od 30 m do 90 m dle aktuální GS (stanoveno dle specifikovaného rozsahu rychlostí $3-9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ viz. 5.3).

5.7. Časová rozvaha

Jak vyplývá z předchozích definic, je zapotřebí uskutečnit měření pro osm různých konfigurací flaperonu s krokem rychlosti $\Delta v = 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pro měřený rozsah rychlostí. Minimální předpokládaná délka jednoho měřeného letu je 85s (40 s měřené úseky, 15 s ustálení letu, 15 s zatáčky a znovu ustálení letu novým směrem, 15 s přistání). Nastavení nové konfigurace flaperonů uvažujme 1min. Součet všech časových úseků je 76,5 min, čas potřebný k měření. S přihlédnutím na životnost zdroje palubního napětí, který je schopen poskytnout 45 min bezpečného letu, je třeba v průběhu měření přerušit a palubní zdroj elektrické energie dobít.

5.8. Vybavení pozemní obsluhy

- stopky
- anemometr
- teploměr
- JETI Box Profi

5.9. Protokol o měření

Tabulka 5.1: Protokol měření

Výchylka flaperonu [°]				
Čas startu	Výchylka VOP (Krok subtrimu [%])	Doba trvání ustáleného letu [s]		Událost
		Let proti větru	Let po větru	
	-10			
	-5			
	0			
	+5			
	+10			
	+15			
	+20			
	+25			

5.10. Způsob vyhodnocení

Podstatou navrhované metodiky letové zkoušky je získání dat o dynamickém a statickém tlaku během letu. GPS logger je využíván pro určení skutečné délky letové trajektorie.

Z dynamického tlaku se získává rychlost letu IAS, následnou opravou CAS. S využitím vzorce obdržíme:

$$\frac{1}{2}\rho v^2 = q \quad (5.1)$$

⋮

$$v_{CAS} = \sqrt{\frac{2q}{\rho}} \quad (5.2)$$

Skutečná rychlost letu TAS se získá až po vyhodnocení letových měření.

Statický tlak je použit pro výpočet aktuální výšky letu.

$$H = -\frac{T}{\alpha} \cdot \left[1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{-\frac{\alpha R}{g}} \right] \quad (5.3)$$

kde

- α je teplotní gradient

5.10. ZPŮSOB VYHODNOCENÍ

- p_0 je tlak na počátku měření
- p je zaznamenaný tlak

Zpracováním naměřených dat získáme údaje o letové výšce na začátku a na konci ustáleného letu, jehož délka je určena ze záznamu GPS loggeru. K jednotlivým úsekům přiřadíme letovou rychlost CAS.

Soubor těchto dat nám umožňuje získat údaje o klouzavosti K , klesací rychlosti w při rychlosti letu v (CAS) pro dané nastavení flaperonů.

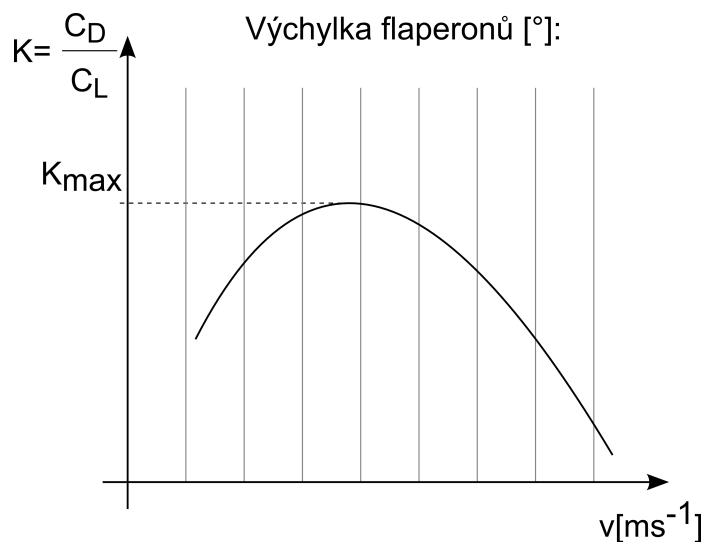
5.10.1. Protokol výsledných dat

Tabulka 5.2: Protokol výsledný

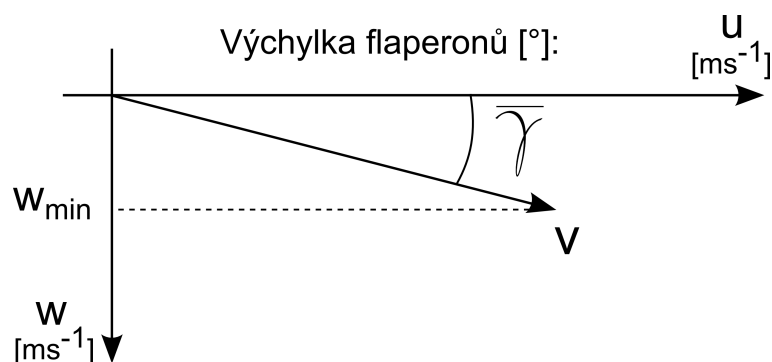
Výchylka flaperonu [°]		Výchylka VOP					
Letová výška [m]		Délka trajektorie [m]	Průměrná rychlost CAS v [ms^{-1}]	Doba trvání ustáleného letu [s]	K	w [ms^{-1}]	$\bar{\gamma}$ [°]
Na začátku úseku	Na konci úseku						

5.10.2. Nalezení režimů K_{max} a w_{min}

Grafické zpracování výsledků:



Obrázek 5.7: Grafické znázornění předpokládaných výsledků měření. Závislost klouzavosti K na rychlosti v .



Obrázek 5.8: Grafické znázornění předpokládaných výsledků měření. Závislost na rychlosti v na klesací rychlosti w .

Vzájemným porovnáním výsledků pro jednotlivé polohy flaperonů a nalezením maxima čísla K obdržíme konfiguraci, při které se model dostává do letového režimu K_{max} (viz. kap. 3.2.2). Nalezením minima klesací rychlosti w obdržíme další konfiguraci, při které se model dostává do letového režimu w_{min} (viz. kap. 3.2.3).

6. Měření

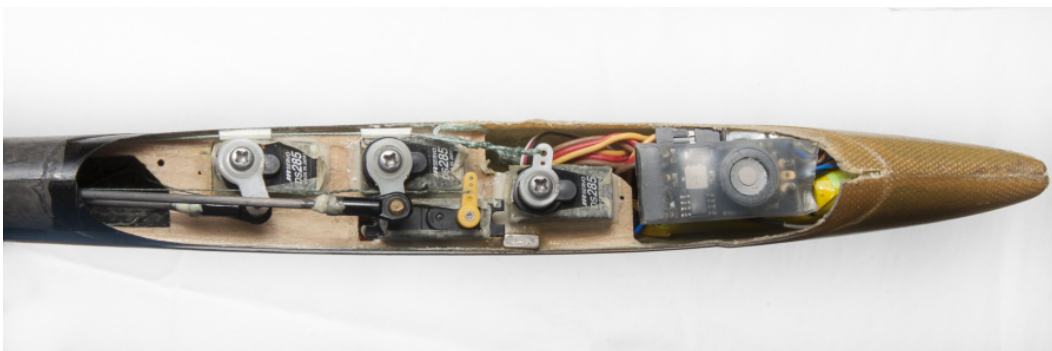
6.1. Model F3K pro letové zkoušky - FW5 Flow

- Technické parametry:
 - Rozpětí: 1500 mm
 - Letová hmotnost modelu bez měřicího vybavení činí 295g. Hmotnost navrhované měřicí soustavy činí 40g. Vzletová hmotnost modelu pro zkoušku s nezměněným těžištěm je 335g.

Tabulka 6.1: Hmotnost modelu pro letové zkoušky.

	hmotnost [g]
FW5 Flow	295
GPS logger	20
mSpeed	15
Pitot-statická trubice	5
Celková hmotnost	335

- Výrobce: Podivin Composites



Obrázek 6.1: Zástavba ovládací elektroniky.

6.2. Integrace použitých přístrojů

Umístění pitot-statického senzoru: Při uvážení fyzikálního principu měření rychlosti pitot-statickou trubicí, který funguje na měření rozdílů tlaků, je vhodné pitot-statický senzor umístit na takové místo letounu, které je nejméně tlakově ovlivněno samotným drakem. Z předchozích zkušeností se jako vhodné místo jeví před špicí letounu.

Umístění senzoru GPS loggeru: Dle pokynů výrobce je třeba senzor umístit tak, aby nebyl stíněn vodivými materiály, a byl tak umožněn volný příjem GPS signálu. Z tohoto hlediska se jeví jako optimální místo pod kabinkou modelu, která často bývá vyrobena ze skelného laminátu.

6.3. Stanovení opravy pitot-statického systému

Před použitím pitot-statického systému je třeba stanovit přístrojovou chybu. Stanovením přístrojové chyby obdržíme rychlost CAS (viz 4.4.1) Aplikací vzorce:

$$\frac{1}{2}\rho v^2 = q \quad (6.1)$$

kde q je dynamický tlak

$$q = p_{celkovy} - p_{atmosfericky} \quad (6.2)$$

Je možné získat rozdíl tlaku pro jednotlivé rychlosti. Úpravou vzorce:

$$v_t = \sqrt{\frac{2q}{\rho}} \quad (6.3)$$

Teoretická rychlost v_t je porovnána rychlostí indikovanou přístrojem v_{IAS} .

Měřením za pomoci kalibrátoru (Druck DPI 615 IS, Výrobní číslo: DPI 615 61515175) byly zjištěny následující hodnoty:

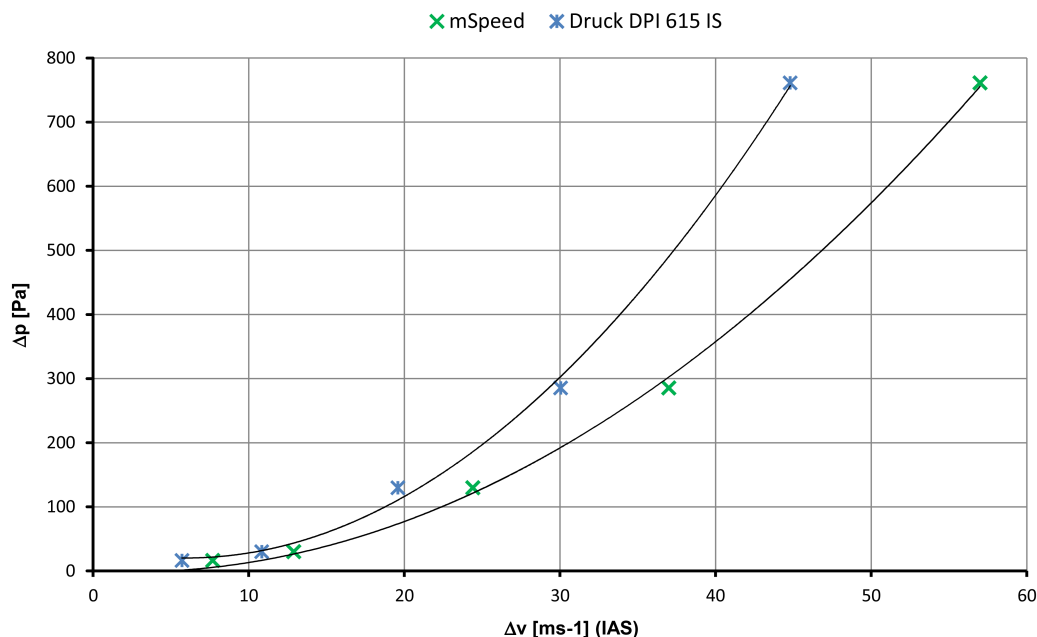
Tabulka 6.2: Data pro stanovení opravy pitot-statického systému.

Přístroj	Veličina	0	1	2	3	4	5
mSpeed	$\Delta p_e [Pa]$	0,0	36,3	101,9	364,7	838,5	1990,0
	$v_e [ms^{-1}]$	0,0	7,7	12,9	24,4	37,0	57,0
Kalibrátor	$\Delta p_{teor} [Pa]$	0,0	20,0	72,0	235,0	553,0	1229,0
	$v_{teor} [ms^{-1}]$	0,0	5,7	10,8	19,6	30,0	44,8
	$\Delta p = \Delta p_e - \Delta p_t$	0,0	16,3	29,9	129,7	285,5	761,0
	$\Delta v = v_e - v_t$	0,0	2,0	2,1	4,8	7,0	12,2

Kde Δp_e je rozdíl tlaku naměřený během kalibrace, Δp_{teor} je rozdíl tlaku použitý při výpočtech, v_e je rychlost indikovaná senzorem mSpeed, v_{teor} je teoretická rychlost dle vzorce 6.3

6.3. STANOVENÍ OPRAVY PITOT-STATICKEHO SYSTÉMU

Graficky je pak závislost indikované rychlosti na Δp znázorněna:



Obrázek 6.2: Grafické znázornění tlakové opravy.

Křivka protínající body charakterizující závislost rychlosti IAS na Δp senzoru mSpeed, je popsána rovnicí

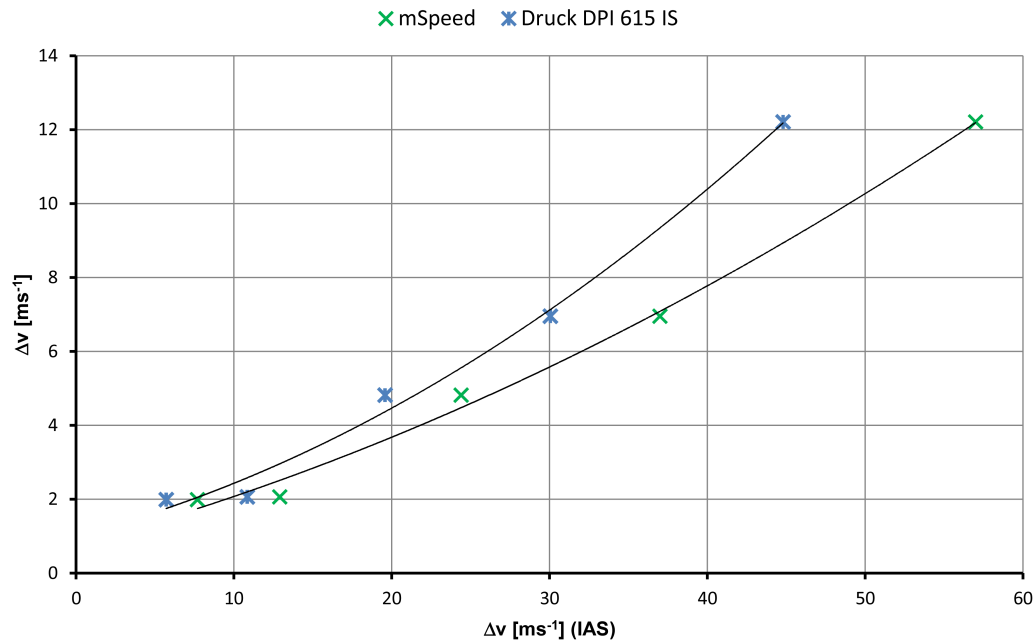
$$\Delta p = 0,2775 \cdot v_t^2 - 2,927 \cdot v_t + 23,966 \quad (6.4)$$

Dynamický tlak opravený o přístrojovou chybu je tedy:

$$q_{oprav} = \frac{1}{2} \rho v_t^2 - (0,2775 \cdot v_t^2 - 2,927 \cdot v_t + 23,966) \quad (6.5)$$

Z tohoto tlaku již můžeme určit opravenou rychlost CAS a stejným postupem můžeme získat i vztah pro přímou opravu rychlosti.

Uvažujeme-li MSA, pak grafická závislost indikované rychlosti IAS a teoreticky vypočtené rychlosti v_t :



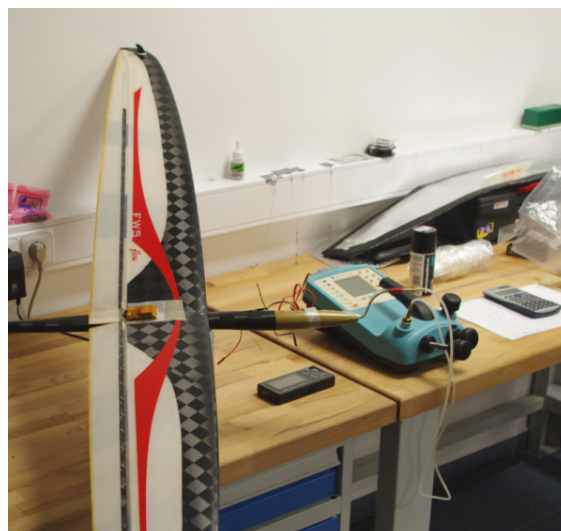
Obrázek 6.3: Grafické znázornění rychlostní opravy.

Křivka protínající body charakterizující závislost rychlosti IAS na Δv senzoru mSpeed, je popsána rovnicí

$$v_{oprav} = 0,0015 \cdot v_t^2 + 0,1159 \cdot v_t + 0,7681 \quad (6.6)$$

Rovnice rychlosti opravené o přístrojovou chybu CAS je pak:

$$v_{oprav} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_t}{\rho}} + (0,0015 \cdot v_t^2 + 0,1159 \cdot v_t + 0,7681) \quad (6.7)$$



Obrázek 6.4: Fotodokumentace průběhu kalibrace pitot-statického systému.

6.4. Experimentální ověření navrhované metodiky

Verifikace navrhované metodiky měření proběhla v ranních hodinách dne 29.4.2013 na letištní ploše letiště Brno - Medlánky.

Stav počasí

- Směr větru: jiho-východní až jižní
- Síla větru: $0-2 \text{ m s}^{-1}$
- Teplota: $12-15 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Bylo provedeno měření pro 3 různá nastavení flaperonů. Zbýlých pět výchylek flaperonu nebylo realizováno pro nestálost atmosférických podmínek.



Obrázek 6.5: Záznam části trajektorie letu během měření.

Při vyhodnocování naměřených dat byla objevena skutečnost, že citlivost senzoru mSpeed je nedostačující, zejména v dolním okraji rozsahu rychlostí. Rychlosti pod 5 m s^{-1} senzor nebyl schopen zaznamenat.

Navrhovaná metodika, při použití daných senzorů není vhodná pro modely F3K. Řešením je buď použití citlivějších senzorů s vyšším rozsahem rychlostí zejména v oblasti nízkých rychlostí (3 m s^{-1}), nebo upravení metodiky.

7. Náhradní metodika měření

Alternativní metodika si klade stejné cíle jako metodika v kapitole 5 a je taktéž koncipována pro stejnou obálku rychlostí i klapkovou obálku (kap. 5.3). Pokouší se odstranit závislost na citlivosti senzorů zejména v oblasti nízkých rychlostí.

Namísto sondy měřící dynamický a statický tlak je do letounu umístěn barometrický výškoměr a GPS logger. Barometrická výška slouží k určení klesací rychlosti, GPS logger udává uletěnou trajektorii a rychlost letu. Uvedený způsob měření je platný pouze pro klidné atmosférické podmínky dle MSA.

7.1. Navrhované přístrojové vybavení

GPS logger

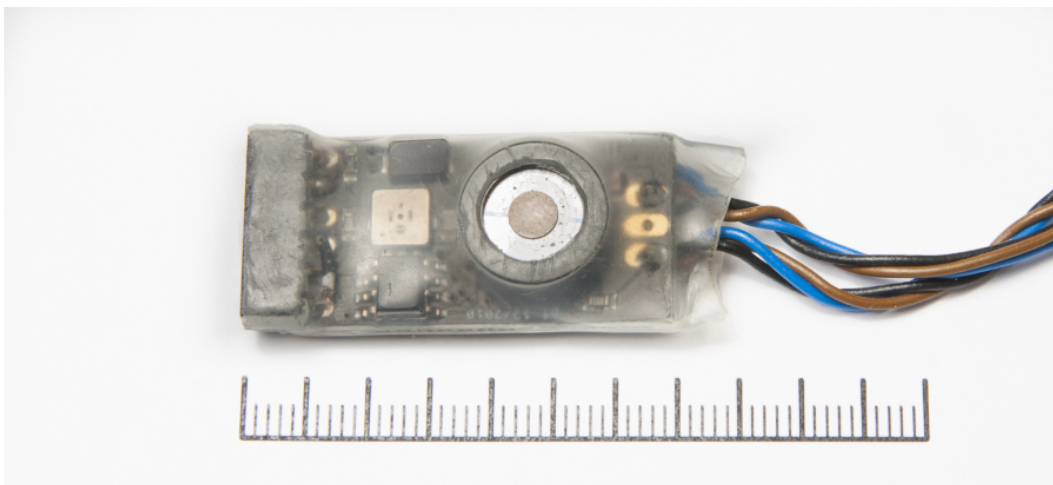
viz. kapitola 5.4

Výškoměr OpenAltimeter [6]

Mezi výhody OpenAltimeteru je fakt, že jeho firmware i software jsou distribuovány pod GNU General Public License, a tak případné nedostatky ve funkčnosti lze rychle odstranit.

Technická specifikace

- rozměry: 31x16x4 mm
- váha: 5,3 g
- citlivost: 0,5 m
- vnitřní paměť: 4 Mb(cca 73 h záznamu při vzorkování po 1 s)



Obrázek 7.1: Výškoměr OpenAltimeter.

7.2. Integrace použitých přístrojů

Umístění OpenAltimeter výškoměru

Přístroj pracuje na principu měření atmosférického tlaku, který dále přepočítává na výšku. Dle doporučení výrobce je z tohoto důvodu vhodné umístit senzor do trupu modelu, kde není ovlivňován vnějšími vlivy (např. změna rychlosti).

Umístění senzoru GPS loggeru: viz kapitola 6.2

7.3. Průběh letu - postup měření

1. Předletová příprava. Kontrola funkčnosti řídicích ploch a činnosti všech systémů.
2. Nastavení konfigurace flaperonů pro dané měření.
3. Zahájení letu startem modelu hodem z otočky.
4. Srovnání směru letu rovnoběžně se směrem větru. Nejlépe nad terénní přímou linií pro dodržení přímosti letu (zpětná kontrola GPS).
5. Ustálení letu a setrvání v daném režimu minimálně 10 s.
6. Otočení směru letounu o 180°. Opakování bodů 4 a 5.
7. Opakování bodů 4 až 6.
8. Přistání. Zápis potřebných údajů do protokolu měření viz. kapitola ??.
9. Opakování celého postupu pro jednotlivé konfigurace flaperonu.

7.4. Způsob vyhodnocení

Podstatou navrhované metodiky je získání údajů o letové výšce na začátku a na konci měřeného úseku. GPS logger je využíván pro získání délky trajektorie tohoto úseku.

Údaje o rozdílu výšek a délky měřeného úseku jsou použity na výpočet klouzavosti K dle vzorce (viz. kap. 4.4):

$$K = \frac{x}{H} \quad (7.1)$$

a klesací rychlosti dle vzorce

$$w = \frac{H_1 - H_2}{t} \quad (7.2)$$

Kde:

- H_1 je výška na začátku měřeného úseku
- H_2 je výška na konci měřeného úseku
- t je doba ustáleného letu.

Délka měřeného úseku a doba ustáleného letu jsou využity pro výpočet traťové rychlosti GS. Zde je třeba zprůměrovat rychlosti z úseků po a proti větru.

7.4.1. Protokol výsledných dat

Tabulka 7.1: Protokol výsledných dat.

Výchylka flaperonu [°]		Výchylka VOP				
Letová výška [m]		Délka trajektorie [m]	Doba trvání ustáleného letu [s]	K	w [ms ⁻¹]	$\bar{\gamma}$ [°]
Na začátku úseku	Na konci úseku					

7.4.2. Nalezení režimů K_{max} a w_{min}

Vyhodnocení výsledků dle kapitoly 5.10.2.

8. Závěr

V předložené práci byla na základě zadání specifikována kategorie rádiem řízených kluzáku F3K. Byly určeny základní letové režimy při soutěžním létání a veličiny charakterizující tyto režimy.

V následujících kapitolách byly obecně popsány letové zkoušky včetně principů měření veličin důležitých pro kategorii F3K.

Na tomto základě pak byla vypracována metodika letové zkoušky pro nalezení letových režimů maximální klouzavosti K_{max} a minimální klesací rychlosti w_{min} , včetně doporučených měřících přístrojů. Mezi hlavní výhody navržené letové zkoušky patří zjištění velkého množství údajů s minimálním počtem měřících senzorů. Díky tomu se hmotnost měřeného modelu odlišuje o 17 %, odchylka výsledků od skutečných hodnot je tak minimální.

Taktéž bylo provedeno experimentální ověření navržené metodiky. Letová zkouška byla uskutečněna na modelu FW5 Flow. Při vyhodnocování výsledků byla objevena skutečnost, že citlivost zvoleného rychlostního senzoru je nedostačující. Pro odstranění tohoto nedostatku byla navržena nová letová zkouška.

Náhradní letová zkouška byla tvořena se stejným cílem, nalezení režimů maximální klouzavosti K_{max} , minimální klesací rychlosti w_{min} a pro stejnou obálku měřených případů. Na místo rychlostní sondy zkouška využívá barometrického výškoměru. Výhodou této zkoušky je dostupnost barometrických výškoměrů s vyhovující citlivostí.

Literatura

- [1] DANĚK, Vladimír. *MECHANIKA LETU I, Letové výkony*.1.Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2009. 293 str. . ISBN 978-80-7204-659-1.
- [2] RYDLO, T. *Druhy a metody zkoušení letadel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ivo Jebáček, Ph.D.
- [3] DANĚK, Milan. *Zkoušení letadel za letu*.1.vyd. Brno: Vojenská akademie Antonína Zápotockého, 1962. 115 s.
- [4] PODIVIN, Markus.: *Podivin Composite modellbau* [online] Vystaveno: 27.1.2013 [cit. 16.4.2013] <<http://www.pcm.at/fw5/GR/FW5-3seit5.pdf>>
- [5] DRELA, Mark.: *Mark Drela's SperGee2 II* [online] Vystaveno: 26.9.2003 [cit. 16.4.2013] <<http://www.charlesriverrc.org/articles/spergee/SG2/spergee2.pdf>>
- [6] HUDSON, Jony.: *OpenAltimeter* [online] [cit. 16.4.2013] <<http://www.openaltimeter.org/>>
- [7] GAVRYLKO, Volodymyr.: *Vladimir's Model* [online] [cit. 20.4.2013] <<http://f3j.in.ua/en/blaster-3.htm>>
- [8] *JETI Model* [online] [cit. 15.4.2013] <<http://www.jetimodel.cz>>
- [9] *LE-Composites* [online] [cit. 13.5.2013] <<http://le-composites.de/v2-3seitenansicht.htm>>
- [10] *HKM Taiwan* [online] [cit. 13.5.2013] <<http://www.hkm-taiwan.com.tw/Show.asp?Category=47Products=150>>
- [11] *Čermák Model* [online] [cit. 13.5.2013] <<http://f3k.cz>>
- [12] BARTOVSKÝ, Tomáš.: *Oficiální stránky KLeMCR* [online] Vystaveno: 27.1.2013 [cit. 13.2.2013] <<http://www.svazmodelaru.cz/odbornosti/klem/Pravidla/Pravidla.php>>

9. Seznam použitých zkratek a symbolů

C_L	[1]	součinitel vztlaku
C_D	[1]	součinitel odporu
K	[1]	klouzavost
$\bar{\gamma}$	[°]	úhel klouzání
P_{min}	[W]	minimální potřebný výkon
ρ	Kgm^{-3}	hustota vzduchu
S	m^2	vztažná plocha křidel
V	ms^{-1}	rychlost letu
x	m	horizontální uletěná vzdálenost
H	m	výška letu
u, v, w	ms^{-1}	složky výsledné rychlosti letu
v_t	ms^{-1}	teoretická výpočtová rychlost letu
v_{IAS}	ms^{-1}	rychlost indikovaná měřícím systémem
v_e	ms^{-1}	je rychlost indikovaná senzorem mSpeed
v_{teor}	ms^{-1}	je teoretická rychlost dle vzorce
Δp_e	[Pa]	je rozdíl tlaku naměřený během kalibrace
Δp_{teor}	[Pa]	je rozdíl tlaku použitý při výpočtech