

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
NÁVRH MODIFIKACE KŘÍDLA PRO VYŠŠÍ
PŘISTÁVACÍ RYCHLOST

LETADLOVÁ TECHNIKA
JIŘÍ PETRUS
2019

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Petrus** Jméno: **Jiří** Osobní číslo: **465516**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav letadlové techniky**
Studijní program: **Teoretický základ strojínského inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh modifikace křídla pro vyšší přistávací rychlost

Název bakalářské práce anglicky:

Proposal of wing modification for higher landing speed

Pokyny pro vypracování:

Pro vypracování proveďte:

- 1) Rešerši prostředků pro zvyšování vzlaku používaných u dané kategorie letounů
- 2) Rozbor současného stavu
- 3) Návrh zjednodušení vzlakové mechanizace s ohledem na požadavky předpisů
- 4) Předběžný návrh úprav konstrukce

Seznam doporučené literatury:

Dle pokynů vedoucího

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: **30.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **02.08.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Jiří Brabec, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Robert Theiner, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen 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.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Jméno autora: Jiří Petrus

Název bakalářské práce: Návrh modifikace křídla pro vyšší přistávací rychlost

Rozsah bakalářské práce: 39 str., 23 obr., 6 tab., 6 grafů

Rok: 2019

Univerzita: České vysoké učení technické v Praze – Fakulta strojní

Ústav: Ústav letadlové techniky

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Brabec, Ph.D.

Klíčová slova: Vztlková klapka, konstrukce, vztlková čára, Fowlerova klapka, šterbinová klapka, sklopná klapka

Anotace:

Bakalářská práce se potýká s problematikou návrhu vztlkové klapky z hlediska aerodynamických vlastností. Začátek práce se věnuje rozboru existujících a používaných vztlkových mechanizací. Následně jsou provedeny výpočty pro různé druhy klapek, a ukázka předběžného návrhu úpravy konstrukce se stanovením polohy závěsů na základě minimalizace ohybového momentu.

Author: Jiří Petrus

Title of bachelor thesis: Proposal of wing modification for higher landing speed

Extent: 39 pg., 23 fig., 6 tab., 6 graphs

Academic year: 2019

University: Czech Technical University in Prague – Faculty of mechanical engineering

Department: Department of Aerospace Engineering

Supervisor: Ing. Jiří Brabec, Ph.D.

Key words: Trailing edge flap, construction, lift coefficient curve, Fowler flap, slotted flap, plain flap

Annotation:

The bachelor thesis is focused on the issue of designing a trailing edge flap from the aerodynamic point of view. The beginning of the work is devoted to the analysis of existing and used high-lift mechanizations. The following part contains calculations for various types of flaps with the preliminary concept of a construction adjustment. The end shows the design of the locations of the hinges based on the minimalization of the bending moment.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Návrh modifikace křídla pro vyšší přistávací rychlost“ vypracoval samostatně a použil jsem pouze literární prameny uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

V Praze dne

.....
podpis

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat mému vedoucímu Ing. Jiřímu Brabcovi Ph.D. za velkou ochotu, pomoc a vstřícný přístup při zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl také poděkovat své rodině za zázemí a podporu.

Obsah

Seznam obrázků	7
Seznam grafů.....	8
Seznam tabulek.....	8
Seznam použitých symbolů.....	9
1 Úvod	11
2 Význam a typy vztlakových klapek.....	12
2.1 Význam	12
2.2 Princip a popis jednotlivých klapek	12
2.2.1 Vztlakové klapky na odtokové hraně	13
2.2.2 Vztlakové klapky na náběžné hraně	16
2.3 Mechanizační prostředky pro pohyb klapky	18
3 Stávající vztlaková mechanizace	21
3.1 Vztlaková čára.....	21
3.2 Stanovení maximálního součinitele vztlaku.....	22
3.3 Vztlaková čára křídla UL-39 s Fowlerovou klapkou	22
4 Návrh zjednodušení vztlakové mechanizace	27
4.1 Sklopná klapka	28
4.2 Štěrbinová klapka	29
5 Předběžný návrh úprav konstrukce.....	31
5.1 Mechanismus s vodící lištou	31
5.2 Kolejnicový mechanismus.....	31
5.3 Stanovení polohy závěsů	32
6 Závěr.....	37
7 Použité zdroje:	38

Seznam obrázků

Obrázek 1 – 3D vizualizace vyvíjeného UL-39 Albi II [2].....	11
Obrázek 2 - Přehled typů mechanizace křídla [3]	13
Obrázek 3 - Odštěpná klapka letounu Evktor SportStar [7].....	14
Obrázek 4 - Jednoduchá klapka letounu TL-96 [10].....	14
Obrázek 5 - Fowlerova klapka letounu Skyleader 200 [11].....	15
Obrázek 6 - Jednoštěrbinová klapka letounu BRM Aero Bristell NG5 [15].....	15
Obrázek 7 - Závislost změny odporu a vztlaku jednotlivých klapek [3].....	16
Obrázek 8 - Závislost vztlaku na úhlu náběhu jednotlivých klapek na náběžné hraně [16].....	17
Obrázek 9 - Klapka se štěrbinou na odtokové hraně [3]	18
Obrázek 10 - Slot na náběžné hraně [3]	18
Obrázek 11 - Čtyřkloubový mechanismus letounu Douglas DC-8 [17]	19
Obrázek 12 - Mechanismus vodící kolejnice u letounu Boeing 757 [17]	19
Obrázek 13 - Mechanismus členu s vodící lištou u letounu Airbus A320 [17].....	20
Obrázek 14 - Závislost součinitele vztlaku na úhlu náběhu [4]	21
Obrázek 15 - Návrh mechanismu s vodící lištou.....	31

Obrázek 16 - Návrh kolejnicového mechanismu	32
Obrázek 17 - Finální návrh kolejnicového mechanismu	32
Obrázek 18 - Zatížení vztlakové klapky podle předpisu UL-2 [20].....	33
Obrázek 19 - Uvolnění vztlakové klapky	33
Obrázek 20 - Řez první částí	34
Obrázek 21 - Řez druhou částí	34
Obrázek 22 - Řez třetí částí	35
Obrázek 23 - Nové umístění závěsů na klapce (červeně) [21]	36

Seznam grafů

Graf 1 - Vztlaková čára profilu MS (1) - 313.....	24
Graf 2 - Vztlaková čára křídla UL-39 Albi	26
Graf 3 - Závislost minimální rychlosti na rozpětí a výchylce u Fowlerovy klapky	27
Graf 4 - Závislost minimální rychlosti na rozpětí a výchylce u sklopné klapky	28
Graf 5 - Závislost minimální rychlosti na rozpětí a výchylce u štěrbinové klapky	29
Graf 6 - Průběh ohybového momentu na vztlakové klapce.....	35

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Závislost maximálního součinitele vztlaku na rozpětí a výchylkách Fowlerovy klapky ...	27
Tabulka 2 - Závislost minimálních rychlostí v km/h na rozpětí a výchylkách u Fowlerovy klapky.....	27
Tabulka 3 - Závislost maximálního součinitele vztlaku na rozpětí a výchylkách u sklopné klapky.....	28
Tabulka 4 - Závislost minimálních rychlostí v km/h na rozpětí a výchylkách u sklopné klapky	28
Tabulka 5 - Závislost maximálního součinitele vztlaku na rozpětí a výchylkách u štěrbinové klapky	29
Tabulka 6 - Závislost minimálních rychlostí v km/h na rozpětí a výchylkách u štěrbinové klapky	29

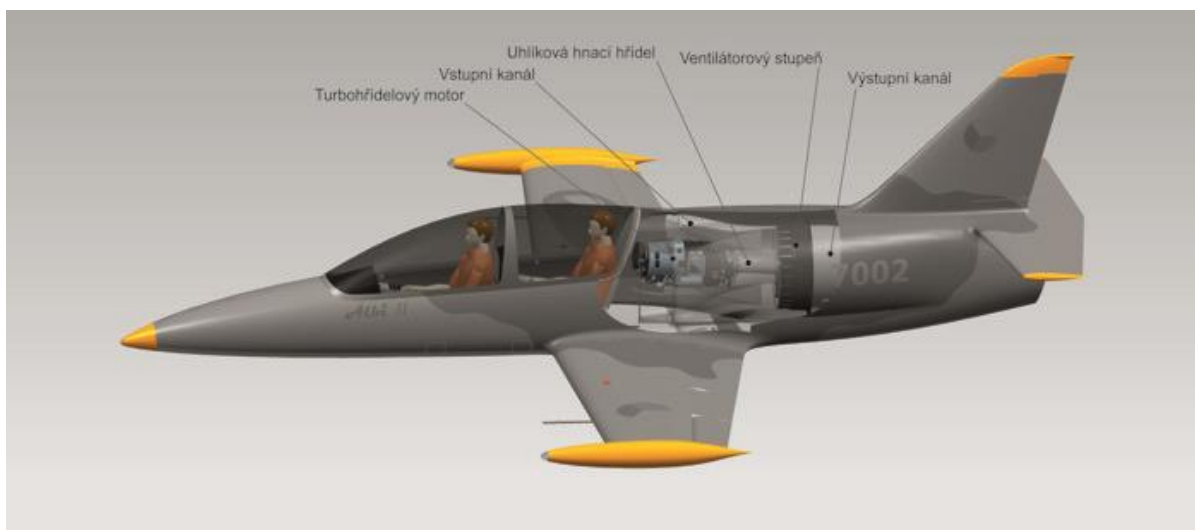
Seznam použitých symbolů

b	[m]	Hloubka klapky
b_0	[m]	Hloubka klapky u kořene
b_k	[m]	Hloubka klapky na konci
c	[m]	Hloubka profilu
c'	[m]	Hloubka profilu s vysunutou klapkou
c_l	[-]	Součinitel vztlaku profilu
c_L	[-]	Součinitel vztlaku křídla
c_y	[-]	Součinitel vztlaku křídla
$c_{l\alpha}$	[1/rad]	Stoupání vztlakové čáry bez vysunutých klapek
c_l^α	[1/rad]	Směrnice vztlakové čáry
$c_{l_{max}}$	[-]	Maximální součinitel vztlaku
$(c_{l\alpha})_\delta$	[1/rad]	Stoupání vztlakové čáry profile pomocí klapek
Δc_l	[-]	Přírůstek vztlaku profilu pomocí klapek
$\Delta c_{l_{max}}$	[-]	Přírůstek maximálního vztlaku profile pomocí klapek
$(\Delta c_{l_{max}})_{base}$	[-]	Přírůstkový maximální součinitel vztlaku profilu pomocí klapek vztažený k 25 % hloubce klapky a 40° výchylce klapky
$C_{L\alpha_w}$	[1/rad]	Stoupání vztlakové čáry křídla
$(C_{L\alpha_w})_\delta$	[1/rad]	Stoupání vztlakové čáry křídla pomocí klapek
ΔC_{L_w}	[-]	Přírůstek vztlaku křídla pomocí klapek
$\Delta C_{L_{maxw}}$	[-]	Přírůstek maximálního vztlaku křídla pomocí klapek
g	[m/s ²]	Tíhové zrychlení
G	[N]	Tíha
k_1	[-]	Faktor, který bere v potaz rozdílnou hloubku klapky oproti 25 %
k_2	[-]	Faktor, který bere v potaz rozdílnou výchylku klapky než 40°
k_3	[-]	Faktor, který bere v potaz pohyb klapky
K_b	[-]	Faktor rozpětí klapky
K_Δ	[-]	Faktor tvarové korekce
L	[N]	Vztlaková síla
L_{kl}	[m]	Délka klapky
$L_{kř}$	[N]	Vztlaková síla křídla
L_{VOP}	[N]	Vztlaková síla VOP
m	[kg]	Hmotnost
$M_{0I}(x)$	[Nm]	Funkce ohybového momentu v prvním řezu
$M_{0II}(x)$	[Nm]	Funkce ohybového momentu v druhém řezu
$M_{0III}(x)$	[Nm]	Funkce ohybového momentu v třetím řezu
q	[N/m]	Spojité zatížení po délce klapky
q_k	[N/m]	Spojité zatížení u kořene klapky
q_0	[N/m]	Spojité zatížení u konce klapky
q_{konst}	[-]	Konstanta směrnice rovnice přímky
Q	[N]	Síla nahrazující spojité zatížení
R_A	[N]	Reakce v závěsu A
R_B	[N]	Reakce v závěsu B
S	[m ²]	Plocha křídla
S_{Wf}	[m ²]	Plocha křídla po rozpětí klapky
v	[km/h]	Rychlost
v_{min}	[km/h]	Minimální pádová rychlost
$W^=$	[Pa]	Průměrné provozní zatížení plochy
x	[m]	Souřadnice ve směru délky klapky

x_Q	[m]	Souřadnice polohy síly Q
α	[°]	Úhel náběhu
α_0	[°]	Nulový úhel náběhu
α_α	[°]	Aerodynamický úhel náběhu
α_δ	[-]	Parametr vztlakové efektivity profilu
$(\alpha_\delta)_{C_1}$	[-]	Parametr 2D klapkové efektivity
$(\alpha_\delta)_{C_L}$	[-]	Parametr 3D klapkové efektivity
δ_f	[°]	Výchylka klapky
ρ	[kg/m ³]	Hustota

1 Úvod

Motivací pro vznik této práce je změna podmínek letové způsobilosti ultralehkých letadel Evropskou unií. Stávající předpis UL-2 v upraveném znění z roku 2002, společně s nařízením Evropského parlamentu a rady EU č. 216/2008, nařizuje pro dvoumístné aerodynamicky řízené ultralehké letouny, které jsou vybaveny záchranným padákovým systémem, maximální vzletovou hmotnost 472,5 kg a zároveň největší minimální rychlost 65 km/h. Nové nařízení Evropského parlamentu a rady EU 2018/1139 dává možnost členským zemím ve formě výjimky spravovat na národní úrovni letadla do maximální vzletové hmotnosti 600 kg společně se zvýšením minimální rychlosti na 45 uzlů (přibližně 83,3 km/h). Česká republika se rozhodla této výjimky využít a v nynější době připravuje Letecká amatérská asociace nový předpis UL-2 pro kategorii ULL, který, po schválení ministerstvem dopravy, umožňuje aktivní využití těchto technických změn. Díky tomu je možná konstrukční úprava ultralehkého letounu UL-39 Albi II, vyvíjeného na ústavu letadlové techniky fakulty strojní ČVUT, na nové maximální limity. Cílem této práce je provést studii, která by měla naznačit možnosti zjednodušení vztlakové mechanizace. [1]



Obrázek 1 – 3D vizualizace vyvíjeného UL-39 Albi II [2]

2 Význam a typy vztlakových klapek


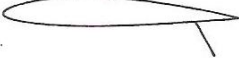




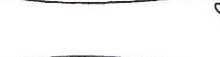
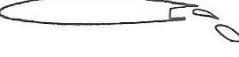


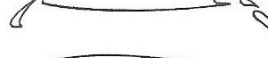

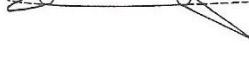
2.1 Význam

V začátcích letectví, vzhledem k nízkým výkonům motorů, byla křídla navrhována tak, aby měla malé plošné zatížení a vysoký maximální součinitel vztlaku. Ve třicátých letech minulého století, díky pokroku ve vývoji motorů, už bylo možné, aby bylo plošné zatížení zvětšeno, a aby křídlo bylo uzpůsobeno pro cestovní let. Zatímco dřívější koncepce křídel vyhovovaly pro starty i přistání, pro ty novější se vyskytl problém v počtu letišť vybavených dostatečně dlouhou vzletovou a přistávací dráhou pro uspokojení délky přistání těchto letadel. Jelikož stavět dlouhé dráhy by bylo neefektivní, rozhodli se tehdejší konstruktéři řešit tento problém mechanizací křídla na úkor snížení jednoduchosti a zvýšení hmotnosti letadla. Zatímco v počátku se používaly jednoduché odštěpné klapky, tak v současnosti se můžeme setkat se stále komplikovanějšími systémy. V dnešní době se můžeme se vztlakovými klapkami setkat u všech druhů letadel. Zatímco u ultralightů jsou mnohdy nepotřebné vzhledem k jejich parametrům a délce dnešních letišť, tak u rychlých letadel, která přistávají při rychlostech 200-250 km/h, jsou nutně potřeba, neboť při takovýchto rychlostech se časy pro rozhodování a provedení nutných úkonů posouvají pod limity, které by byly ještě schopné zvládnout i zkušené posádky. [3]

2.2 Princip a popis jednotlivých klapek

Jak už bylo zmíněno, vztlakové klapky jsou součástí mechanizace křídla vyskytující se jak na odtokové, tak i na náběžné hraně křídla. Kromě jejich primárního použití při fázi vzletu a přistání se jich kupříkladu používá i u kluzáků při kroužení ve stoupavých prouděch k dosažení co nejmenšího poloměru zatáčky a přiblížení se k jádru termického proudu. Tyto prostředky mají za úkol zvýšit vztlak a docilují tohoto pomocí tří způsobů: [3][4][5]

1. Zvětšením zakřivení (tvaru střední křivky) profilu (obr. 2 - ID 2,3,10 a 13)
2. Ovlivněním mezní vrstvy pasivní formou, tj. přirozeným odsáváním a přefukováním bez vnějšího přívodu energie
3. Zvětšením plochy křídla
4. Sloučením principů 1 až 3 (obr. 2 - ID 4 až 9 a 11,12)

ID	NÁKRES	NÁZEV	Δc_y	α°
1		Základní profil $c_{y\max}=1,2$		
2		Odštěpná klapka	0,78+0,90	14
3		Sklopná kl.	0,54+0,66	12
4		Štěrbinová sklopná kl.	0,60+0,72	12
5		Sklopná klapka s vyfukováním	1,80+2,40	NA
6		Fowlerova štěrbinová klapka	1,38+1,5	13
7		Dvouštěrbinová kl.	1,68+1,80	13
8		Tříštěrbinová kl.	2,40+3,60	NA
9		Slot na NH	0,42+0,48	26
10		Krügerova kl.	0,40+0,60	NA
11		Dvouštěrbinová kl. se slotem na NH	2,16+2,64	NA
12		Tříštěrbinová kl. se slotem na NH	>3,5	NA
13		Sklopná NH a klapka na OH	0,60+0,72	>22°

Obrázek 2 - Přehled typů mechanizace křídla [3]

2.2.1 Vztlakové klapky na odtokové hraně

Operují s principem, že pomocí změny křivosti křídla se urychlí obtékání na odtokové hraně, čímž se zvýší podtlak na velké části profilu. Jejich nevýhodou je, že u tenkých profilů může docházet k dřívějšímu odtrhávání proudnic na odtokové hraně a snížení kritického úhlu náběhu. [3]

Odštěpná (odklápěcí) klapka

Řadí se mezi nejjednodušší, nejlehčí a nejstarší konstrukční provedení. Nevýhodou této klapky je, že už od malých výchylek roste její odpor a díky tomu není vhodná pro vylepšení parametrů stoupání. V dnešní době se již nepoužívá. Lze se s ní setkat u letadel Z-126-726, DC-3 a MIG-15. U ultralightů ji lze nalézt kupříkladu na Evektoru SportStar nebo u JA 100 Colibri Basic. [3][6][7][8]



Obrázek 3 - Odštěpná klapka letounu Evekotor SportStar [7]

Sklopná (jednoduchá) klapka

Vyniká svoji konstrukční jednoduchostí, ale při výchylkách přibližně 10-15° nastává u této klapky odtržení podél osy závěsu, dochází k poklesu vzlaku a odpor se již při dalším nárůstu výchylky zvětšuje stejně jako u odštěpné klapky. Používá se u ultralightů (TL 2000 Star, DOVA DV-1 Skylark) a také u velmi výkonných kluzáků (Ventus). [3][6][9]



Obrázek 4 - Jednoduchá klapka letounu TL-96 [10]

Fowlerova klapka

Je to klapka, která využívá všech třech principů pro zvětšení vzlaku a při zataženém stavu je zhruba 90-95 % klapky překryto horním potahem. Při vysouvání se nejprve pohybuje po své těživě přímo dozadu a až ke konci vysouvání se sklápí. Tímto způsobem nejprve roste vztlak díky zvětšením plochy křídla, a poté i díky změny křivosti profilu. Výhodou klapky je, že odpor zpočátku dlouho roste pomalu, kvůli

čemuž je vhodná i pro starty. Nevýhodou je velký nárůst klopivého momentu společně s konstrukční náročností pro zajištění správné funkčnosti. Najdeme ji jak u kluzáků (L-13), dvoumotorových letounů (L-200), tak i u bojových letadel (MiG-21). Mezi ultralehké zástupce poté patří Skyleader 200 nebo Aeropilot Legend 540. [3][4][6][11][12]



Obrázek 5 - Fowlerova klapka letounu Skyleader 200 [11]

Jednoštěrbinová klapka

Jedná se kombinaci zvětšení křivosti a ovlivnění mezní vrstvy. Při vysouvání klapky vzniká štěrbina, přes kterou proudí vzduch ze spodní části vyššího tlaku nad horní povrch klapky. Na klapce se díky tomu vytváří nová mezní vrstva, kvůli které je jí možné sklopit až na úhly kolem 40° , přičemž mezní vrstva na křídle před klapkou zůstává skoro bez ovlivnění. V dnešní době se jedná o nejrozšířenější druh u sportovních letadel, můžeme se s ní setkat například u Z-142. U ultralehkých letadel ji můžeme nalézt na BRM Aero Bristell NG 5 a také na ATEC 321 Faeta. [3][4][6][13][14]



Obrázek 6 - Jednoštěrbinová klapka letounu BRM Aero Bristell NG5 [15]

Dvoušterbinová klapka

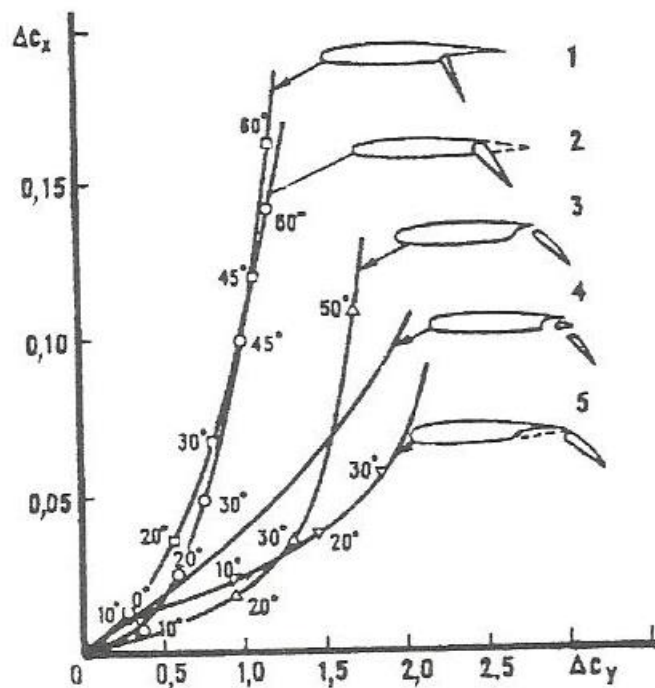
Mezi její hlavní výhody patří schopnost dosáhnout větších přírůstků vztlaku při větších výchylkách klapek. Docílí toho pomocí příznivějšího rozdělení tlaku, mající za následek oddálení odtržení proudu na klapce. Při nezávislém vytažování klapky a předklapky do optimální polohy je možno dosáhnout výchylek až 70°. Kvůli složitosti závěsného mechanismu nezávislého vytažování se ovšem v praxi používá předklapka pevně spojená s klapkou, zavěšenou na čtyřkloubovém mechanismu. Nevýhodou je, že geometricky přesně jsou klapky nastaveny pouze pro přistání. U vzletu je obětováno optimální nastavení pro stoupaní za konstrukční a provozní jednoduchost. Vzhledem k velké náročnosti se nepoužívá u sportovních letadel, ale lze ji nalézt u menších dopravních letadel (L-410). [3][6]

Tříšterbinová klapka

Lze se s ní setkat u některých transportních letounů s velkým plošným zatížením (větším než 500 kg/m²). Při spojení s mechanizací náběžné hrany se můžeme dostat až na maximální hodnoty parametrů, kterých se dá ještě dosáhnout pasivními systémy beztoho, aby přírůstky klopivého momentu a odporu překročily neúnosné meze. [3]

Klapka za křídlem

Jedná se o samostatný profil nacházející se na závěsech za křídlem. Může být umístěn podél celého rozpětí křídla (Junkersova klapka) nebo jen po jeho části (flaperon). Má v sobě obvykle kombinovanou funkci vztlakové klapky a křidélek. V dnešní době ji nalezneme pouze výjimečně u ultralehkých letadel (ULL Fox). [4][6]



Obrázek 7 - Závislost změny odporu a vztlaku jednotlivých klapek [3]

Vesměs se dá tvrdit, že většina klapek nacházejících se na odtokové hraně zasahuje přibližně do 30 % hloubky profilu a má dvě rozdílné provozní polohy. Pro start a stoupaní se používají výchylky zhruba 20° a pro přiblížení a přistání se používají výchylky kolem 40°. [3]

2.2.2 Vztlakové klapky na náběžné hraně

Klapky na náběžné hraně ovlivňují mezní vrstvu po velké hloubce profilu. Také zabraňují odtržení na náběžné hraně u tenkých profilů a oddalují odtržení po celém profilu do vyšších úhlů náběhu. Protože

má změna křivosti na náběžné hraně za následek ovlivnění proudění jen do malé hloubky křídla, tak přispívá ke zvýšení vztlaku minimálně. [3]

Výsuvný slot

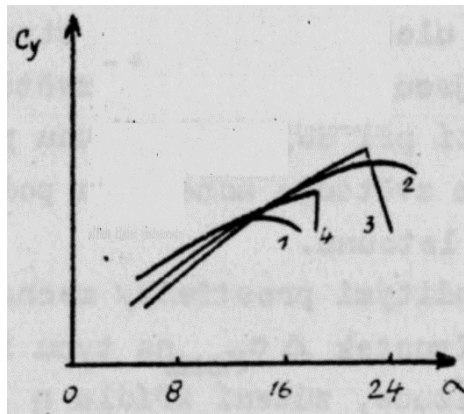
Funguje na principu, že při vysunutí přefukuje vzduch ze spodní přetlakové strany nad horní, což má za následek urychlení proud vzduchu v mezní vrstvě, a tím pádem se oddálí odtržení proudy na vyšší úhly náběhu. Jedná se o velice účinný prostředek, neboť dokáže udržet neodtržený proud do velkých úhlů náběhu a jeho závislost vztlaku na úhlu náběhu je i při překročení kritického úhlu náběhu plynulá. Nevýhodou je, že je konstrukčně nejsložitější a těžký. [6][16]

Krügerova klapka

Oproti slotu je konstrukčně jednodušší a lehčí. Výhodou je její účinnost. Nevýhodou je, že jakmile se dosáhne kritického úhlu náběhu, tak vyvolává rychlé odtržení proudy na křídle s náhlým poklesem vztlaku s růstem úhlu náběhu. Své uplatnění tím pádem má na křídle, kde je vysoký kritický úhel náběhu, kupříkladu na šípovitém křídle v kořenové části. [16]

Sklopná náběžná hrana

Vyznačuje se podobným charakterem křivky závislosti vztlaku na úhlu náběhu jako Krügerova klapka. Její nevýhodou je, že je konstrukčně složitější a nemá takovou účinnost. [16]

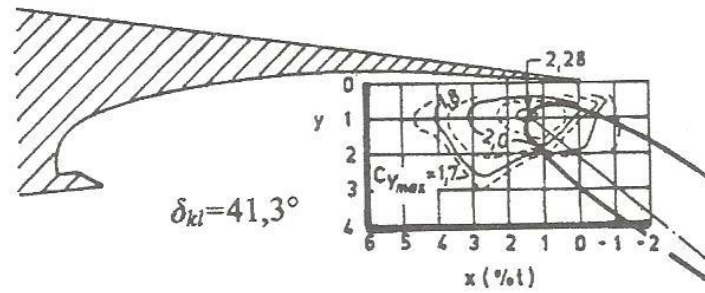


Obrázek 8 - Závislost vztlaku na úhlu náběhu jednotlivých klapek na náběžné hraně [16]

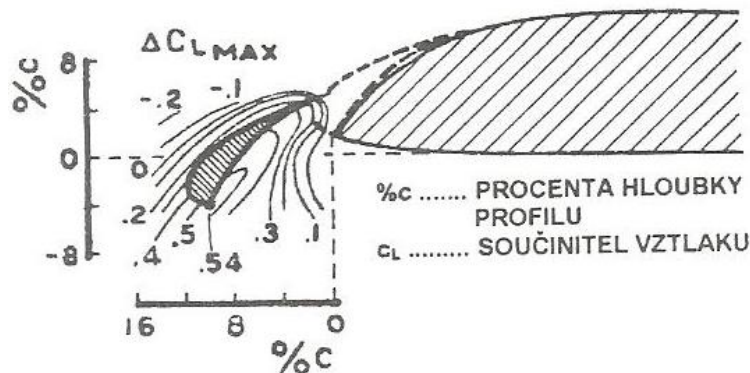
- 1 – Křídlo bez mechanizace
- 2- Křídlo se slotem
- 3- Křídlo s klapkou Krüger
- 4 – Sklopná náběžná část křídla

V případě letounů s vysokým plošným zatížením není možné získat maximální součinitel vztlaku c_y pro požadovanou minimální rychlost pouze s použitím mechanizace na odtokové či náběžné hraně. Kvůli tomu je potřeba mechanismy pro zvýšení vztlaku kombinovat. Nejčastěji se jedná o vícešterbinové klapky ve spojení s vhodným mechanismem na náběžné hraně. [4]

Pro zajištění správné účinnosti mechanizačních systémů je zároveň třeba, aby jednotlivé členy byly vzájemně přesně umístěny, a to ve všech svých polohách. Poloha klapky na náběžné hraně, stejně tak i geometrie šterbiny mezi klapkou a křídlem na odtokové hraně, velice ovlivňuje přírůstky vztlaku, kterých jsme schopni dosáhnout. Obr. 9 a obr. 10 znázorňují obvyklý způsob zpracování výsledků polohy klapky z aerodynamického měření v tunelu. Mimo jiné u obr. 10 lze také vidět, jak nevhodná poloha slotu může ovlivnit vztlak i negativně. [3][6]



Obrázek 9 - Klapka se štěrbinou na odtokové hraně [3]



Obrázek 10 - Slot na náběžné hraně [3]

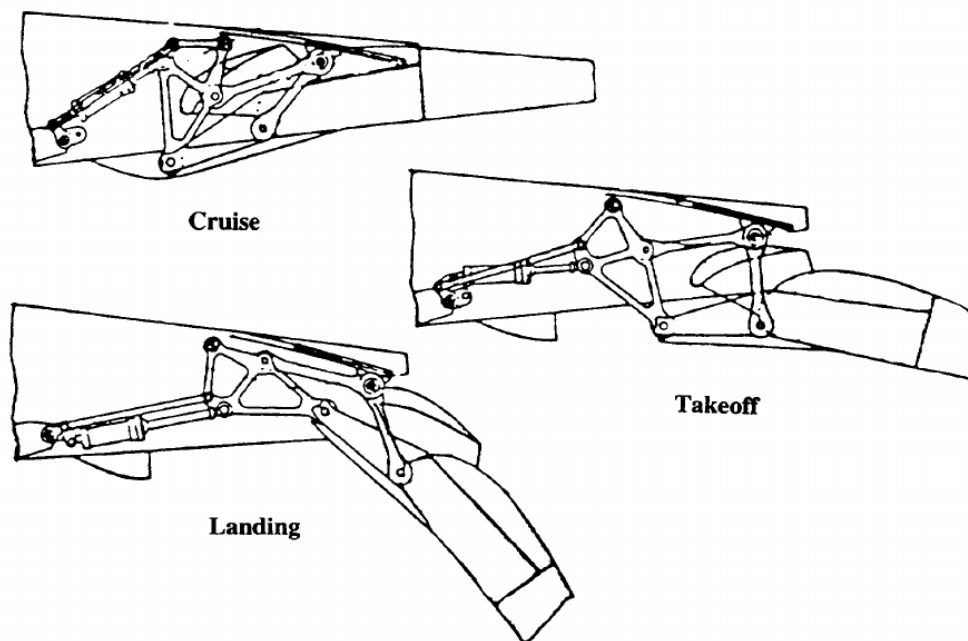
Velice nebezpečná je nejednotná geometrie klapkových systémů nebo mechanismů závěsů na pravé a levé straně křídla, zapříčiněná odchylkami ve výrobě. Tato nepřesnost může způsobit po vytažení vztlačových klapek nechtěné klonění letadla vlivem rozdílných tlaků. [3]

2.3 Mechanizační prostředky pro pohyb klapky

V současné době existuje nespočet druhů mechanismů pro klapky na odtokové hraně, přičemž vylepšené nebo i nové druhy jsou ustavičně vyvíjeny. Mezi nejpoužívanější mechanismy pro Fowlerovu klapku se řadí čtyřkloubový, s vodící kolejničí a s členem s vodící lištou. [17]

Čtyřkloubový mechanismus vzhůru nohama

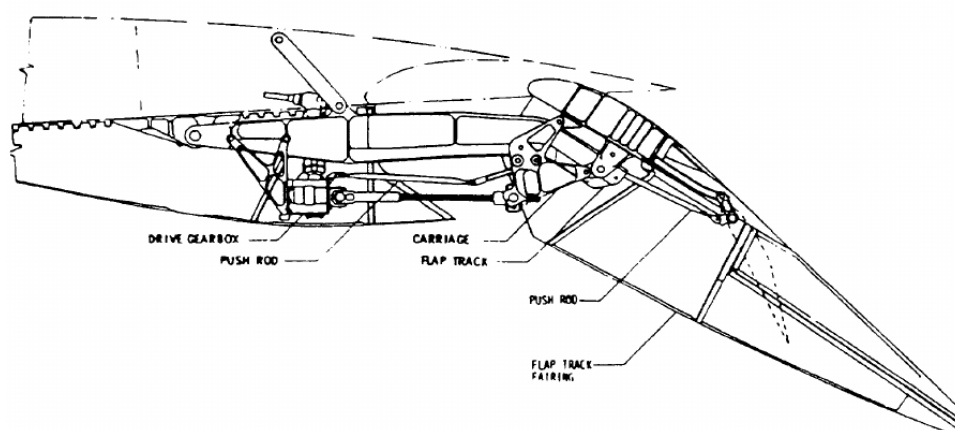
Princip tohoto mechanismu je, že dva členy společně s podpěrou jsou na libovolném místě na svém vrchním konci zavěšeny za pevný bod na křídle a na svém spodním konci přímo na klapce nebo na klapkovém závěsu. Výhodou je, že je také možno dosáhnout kompletního schování mechanismu ve křídle a není potřeba aerodynamického překrytu, což zapříčiní menší odpor při malých i vysokých rychlostech. Další výhodou tohoto mechanismu je dobrá trajektorie vysouvání klapky při malých výchylkách, nevýhodou, že potřebné požadavky na výkon aktivního členu mohou dosáhnout vyšších hodnot. [17]



Obrázek 11 - Čtyřkloubový mechanismus letounu Douglas DC-8 [17]

Mechanismus vodící kolejnice

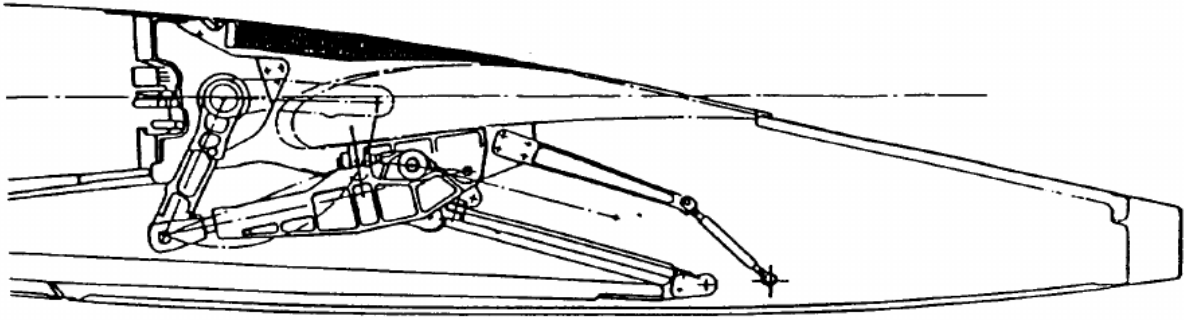
Základem této mechanizace je vodící kolejnice, která je rovná a směrem k odtokové hraně se sklání dolů. Toto zajišťuje při vysouvání pohyb klapky dozadu a mírně dolů. Konec kolejnice je poté zahnut dolů, a tím pádem při přistávací konfiguraci zajišťuje rotační pohyb klapky. Hlavní nevýhodou je, že reakce na vzdušné zatížení vyvolává moment mezi přední a zadní kladkou na závěsovém vozíku. V praxi nebývá vzdálenost mezi přední a zadní kladkou velká, a tak zadní kladka nabývá velkých zatížení a kvůli tomu není lehké navrhnout tento mechanismus na rozumnou životnost. [17]



Obrázek 12 - Mechanismus vodící kolejnice u letounu Boeing 757 [17]

Mechanismus členu s vodící lištou

Problémem jiných mechanismů je, že pro ideální pohyb klapky je třeba, aby jeden člen byl dostatečně dlouhý. Kvůli tomu se nevejde do aerodynamického překrytu. U tohoto mechanismu toto napodobuje vodící lišta. Stejně jako u mechanismu vodící kolejnice zde vzniká moment, a to mezi zadním členem a aktivním členem, avšak menší. Zároveň zde vzniká i menší mechanické opotřebení. [17]



Obrázek 13 - Mechanismus člena s vodící lištou u letounu Airbus A320 [17]

3 Stávající vztlaková mechanizace

Při současném i budoucím návrhu se pro stanovení potřebného vztlaku křídla vychází z rovnice rovnováhy vztlakové síly a tíhy za letu.

$$L = G \quad (3.1)$$

Celkový vztlak letounu je složený ze dvou částí, a to ze vztlakové síly křídla a vztlakové síly vodorovné ocasní plochy (VOP), přičemž vztlaková síla VOP má opačný směr působení. V tomto případě se dá uvažovat velikost vztlakové síly VOP jako 5 % celkové vztlakové síly. [18]

$$L_{kř} + L_{VOP} = G \quad (3.2)$$

$$L_{kř} = G - L_{VOP} \quad (3.3)$$

$$L_{kř} = G - (-0,05L) \quad (3.4)$$

$$L_{kř} = G + 0,05G \quad (3.5)$$

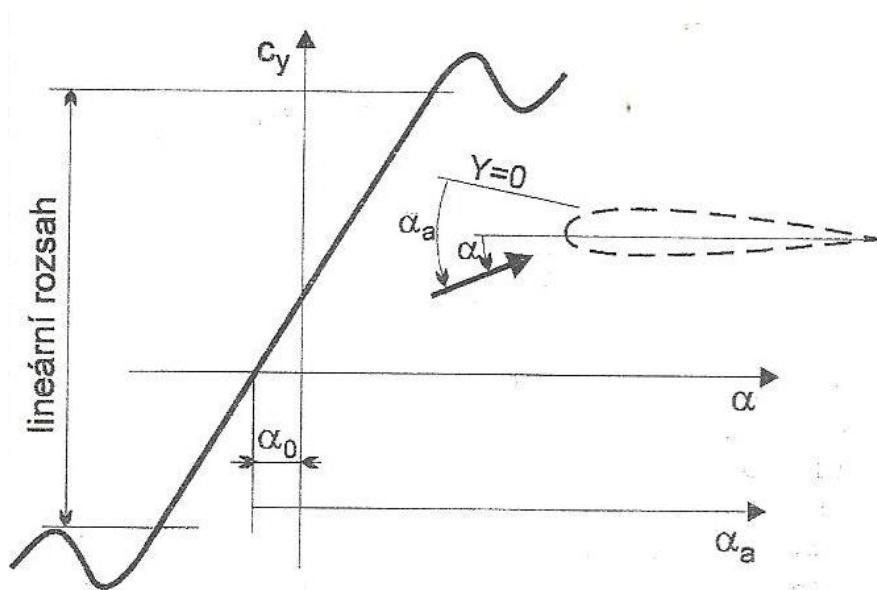
$$L_{kř} = 1,05G = 1,05L \quad (3.6)$$

3.1 Vztlaková čára

Vztlakové charakteristiky bývají popisovány vztlakovou čarou. Teoretickými a také experimentálními metodami je prokázáno, že závislost vztlaku na úhlu náběhu je v jeho oblasti malých hodnot lineární. Z charakteristické rovnice vztlaku

$$L = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S \cdot c_L \quad (3.7)$$

je zřejmé, že tuto závislost má na svědomí součinitel vztlaku, neboť právě ten závisí na úhlu náběhu. [4]



Obrázek 14 - Závislost součinitele vztlaku na úhlu náběhu [4]

Obr. 14 popisuje typický průběh závislosti součinitele vztlaku na úhlu náběhu. Součinitel vztlaku má lineární závislost v rozsahu přibližně $\pm 10^\circ$ kolem směru nulového vztlaku α_0 . Tuto linearitu lze popsat rovnicí:

$$c_L = c_L^\alpha (\alpha - \alpha_0) = c_L^\alpha \alpha_a \quad (3.8)$$

Aerodynamický úhel náběhu (α_a) nám v grafu znázorňuje úhel od bodu nulového vztlaku. Směrnice c_L^α má pro tenké profily teoretickou hodnotu $c_L^\alpha = 2\pi \left[\frac{1}{rad} \right] = 0,11 \left[\frac{1}{s} \right]$. Se zvětšující tloušťkou profilu se

tato směrnice zmenšuje. Křídlo má menší směrnici než stejně tlustý profil a s postupným snížením štíhlosti se tento pokles zvětšuje. [4]

3.2 Stanovení maximálního součinitele vztlaku

Při stanovení maximálního součinitele vztlaku potřebného pro uspokojení požadavku předpisu na maximální pádovou rychlost se vychází z (3.6) a (3.7), ze kterých se pomocí úprav dá vyjádřit vzorec pro maximální součinitel vztlaku:

$$L_{kř} = 1,05L = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S \cdot c_L \quad (3.9)$$

$$c_{L_{max}} = \frac{1,05 \cdot 2 \cdot m \cdot g}{v_{min}^2 \cdot \rho \cdot S} \quad (3.10)$$

V nynější době pro UL-39 Albi podle předpisu UL-2 platí:

$$c_{L_{max}} = \frac{1,05 \cdot 2 \cdot 472,5 \cdot 9,81}{\left(\frac{65}{3,6}\right)^2 \cdot 1,225 \cdot 8,899} = 2,739 \quad (3.11)$$

Díky novému předpisu se zvětšila hmotnost na 600 kg a zvýšila maximální pádová rychlost na 83,3 km/h, tím pádem pro UL-39 Albi platí:

$$c_{L_{max}} = \frac{1,05 \cdot 2 \cdot 600 \cdot 9,81}{\left(\frac{83,3}{3,6}\right)^2 \cdot 1,225 \cdot 8,899} = 2,118 \quad (3.12)$$

3.3 Vztlaková čára křídla UL-39 s Fowlerovou klapkou

Pro konstrukci vztlakové čáry křídla s klapkou je potřeba nejdříve stanovit samotnou vztlakovou čáru profilu s klapkou použitého na letadle. Jednotlivé výpočty jsou prováděny podle [19].

Přírůstek vztlaku profilu pomocí klapky

$$\Delta c_l = c_{l_\alpha} \cdot \alpha_\delta \cdot \frac{c'}{c} \cdot \delta_f \quad (3.13)$$

$$c_{l_\alpha} = 6,521 \text{ 1/rad}$$

Stoupání vztlakové čáry bez vysunutých vztlakových klapky

$$\alpha_\delta = 0,47$$

Parametr vztlakové efektivity profilu (fig.8.17)

$$\frac{c'}{c} = 1,174$$

Poměr hloubky profilu s vysunutou klapkou ku hloubce profilu s klapkou zasunutou

Poměr hloubky profilu s vysunutou klapkou ku hloubce profilu s klapkou zasunutou

$$\delta_f = 35^\circ = 0,611 \text{ rad}$$

Výchylka klapky

$$\Delta c_l = 6,521 \cdot 0,47 \cdot 1,174 \cdot 0,611 = 2,199 \quad (3.14)$$

Přírůstek maximálního vztlaku profilu pomocí klapky

$$\Delta c_{l_{max}} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot (\Delta c_{l_{max}})_{base} \quad (3.15)$$

$$(\Delta c_{l_{max}})_{base} = 1,4522$$

Přírůstkový maximální součinitel vztlaku profilu pomocí klapky vztahený k 25 % hloubce klapky a 40° výchylce klapky (fig.8.31)

$$k_1 = 1,2$$

(fig.8.32)

Faktor, který bere v potaz rozdílnou hloubku klapky oproti 25 %

$$k_2 = 0,983$$

Faktor, který bere v potaz rozdílnou výchylku klapky než 40° (fig.8.33)

$$k_3 = 0,93$$

Faktor, který bere v potaz pohyb klapky (fig.8.34)

$$\Delta c_{l_{max}} = 1,2 \cdot 0,983 \cdot 0,93 \cdot 1,4522 = 1,593 \quad (3.16)$$

Stoupání vztlakové čáry profilu s klapkami

$$(c_{l_{\alpha}})_{\delta} = \frac{c'}{c} \cdot c_{l_{\alpha}} \quad (3.17)$$

$\frac{c'}{c} = 1,174$ Poměr hloubky profilu s vysunutou klapkou ku hloubce profilu s klapkou zasunutou

$c_{l_{\alpha}} = 6,521 \text{ 1/rad}$ Stoupání vztlakové čáry bez vysunutých vztlakových klappek

$$(c_{l_{\alpha}})_{\delta} = 1,174 \cdot 6,521 = 7,656 \frac{1}{rad} \quad (3.18)$$

Směrnice rovnice přímkou profilu bez klapky

Pro profil bez klapky lze použít rovnici ze zadání v přibližném tvaru.

$$y = 1 \cdot 10^{-7}x^5 - 7 \cdot 10^{-6}x^4 + 2 \cdot 10^{-5}x^3 + 9 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,1148x + 0,3356 \quad (3.19)$$

Směrnice rovnice přímkou profilu s klapkou

Pro vykreslení vztlakové čáry profilu s klapkou je potřeba znát směrnice rovnice přímkou.

$$y = kx + q_{konst} \quad (3.20)$$

Směrnici lze určit úpravou rovnice (3.18).

$$k = (c_{l_{\alpha}})_{\delta} \cdot \frac{\pi}{180^{\circ}} \quad (3.21)$$

$$k = 7,656 \cdot \frac{\pi}{180^{\circ}} = 0,1336 \quad (3.22)$$

Konstanta q_{konst} se dá vypočítat dosazením bodu průsečíku s osou y do (3.20)

$$x = 0; y = 0,3356424398 + \Delta c_l = 0,3356424398 + 2,199 = 2,53464244 \quad (3.23)$$

$$2,53464244 = 0,1336 \cdot 0 + q_{konst} \quad (3.24)$$

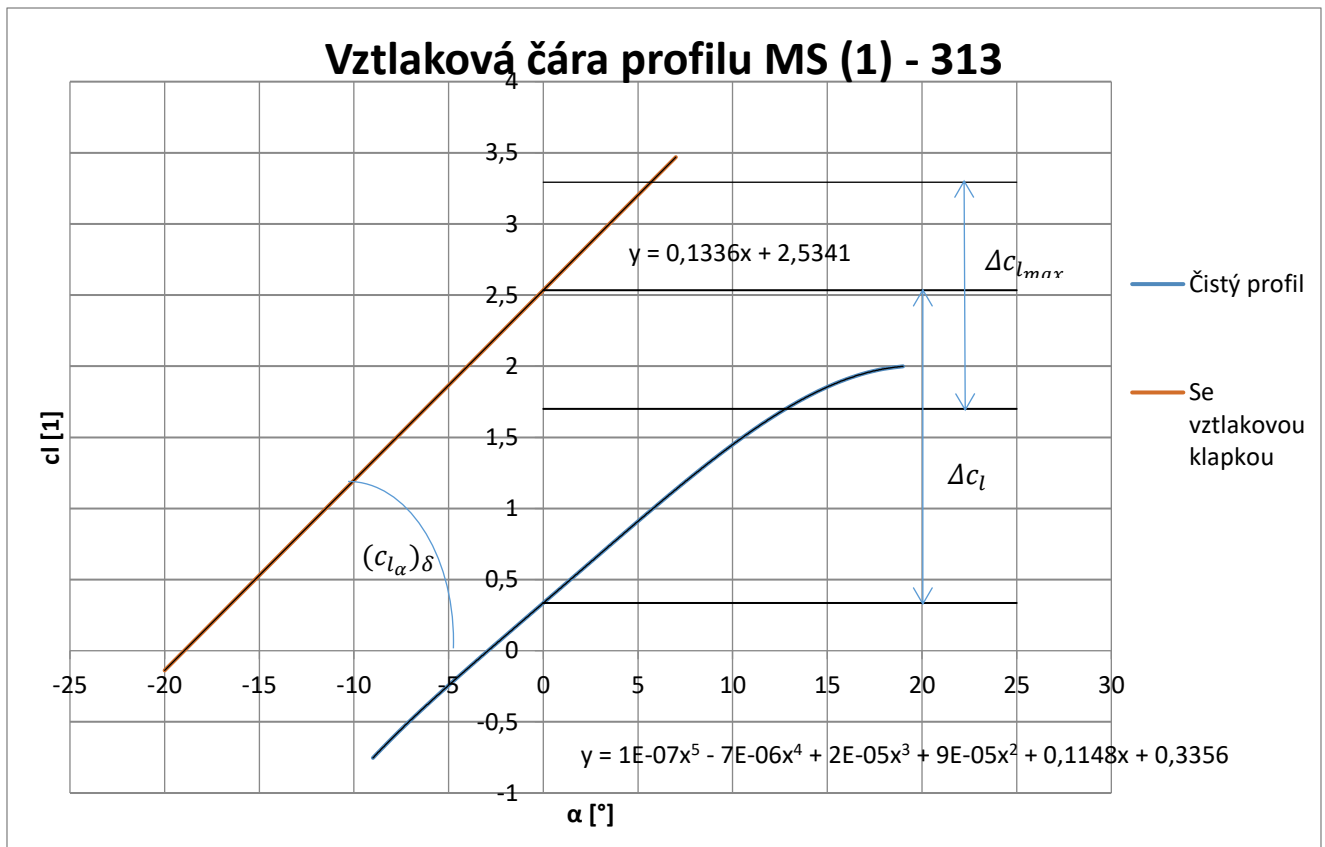
$$q_{konst} = 2,53464244 \quad (3.25)$$

Výsledná rovnice ve směrnice tvaru vypadá poté

$$y = 0,1336x + 2,53464244 \quad (3.26)$$

popřípadě v častější tvaru takto.

$$c_l = 0,1336(\alpha + 18,97^{\circ}) \quad (3.27)$$



Graf 1 - Vztlaková čára profilu MS (1) - 313

Po stanovení vztlakové čáry profilu už můžeme pokračovat dalším výpočtem už samotného křídla s klapkou.

Přírůstek vztlaku křídla pomocí klapek

$$\Delta C_{LW} = K_b \cdot \Delta c_l \cdot \frac{C_{L\alpha W}}{c_{l_\alpha}} \cdot \frac{(\alpha_\delta)_{c_L}}{(\alpha_\delta)_{c_l}} \quad (3.28)$$

$K_b = 0,76$ Faktor rozpětí klapky (fig.8.52)

$\Delta c_l = 2,199$ Přírůstek vztlaku profilu pomocí klapky

$C_{L\alpha W} = 4,616 \text{ 1/rad}$ Stoupání vztlakové čáry křídla

$c_{l_\alpha} = 6,521 \text{ 1/rad}$ Stoupání vztlakové čáry profilu

$\frac{(\alpha_\delta)_{c_L}}{(\alpha_\delta)_{c_l}} = 1,044$ Poměr parametru 3D klapkové efektivity ku parametru 2D klapkové efektivity (fig.8.53)

$$\Delta C_{LW} = 0,76 \cdot 2,199 \cdot \frac{4,616}{6,521} \cdot 1,044 = 1,235 \quad (3.29)$$

Přírůstek maximálního vztlaku křídla pomocí klapek

$$\Delta C_{L_{maxW}} = \Delta c_{l_{max}} \cdot \frac{S_{Wf}}{S} \cdot K_\Delta \quad (3.30)$$

$\Delta c_{l_{max}} = 1,593$ Přírůstek maximálního vztlaku profilu pomocí klapky

$S_{W_f} = 5,882 \text{ m}^2$ Plocha části křídla s klapkou

$S = 8,899 \text{ m}^2$ Plocha křídla

$K_\Delta = 0,92$ Faktor tvarové korekce (fig.5.55)

$$\Delta C_{L_{maxW}} = 1,593 \cdot \frac{5,882}{8,899} \cdot 0,92 = 0,969 \quad (3.31)$$

Stoupání vztlakové čáry křídla s klapkami

$$(C_{L\alpha_W})_\delta = C_{L\alpha_W} \cdot \left[1 + \left(\frac{c'}{c} - 1 \right) \cdot \frac{S_{W_f}}{S} \right] \quad (3.32)$$

$C_{L\alpha_W} = 4,616 \text{ 1/rad}$ Stoupání vztlakové čáry křídla

$\frac{c'}{c} = 1,174$ Poměr hloubky profilu s vysunutou klapkou ku hloubce profilu s klapkou zasunutou

$S_{W_f} = 5,882 \text{ m}^2$ Plocha části křídla s klapkou

$S = 8,899 \text{ m}^2$ Plocha křídla

$$(C_{L\alpha_W})_\delta = 4,616 \cdot \left[1 + (1,174 - 1) \cdot \frac{5,882}{8,899} \right] = 5,147 \frac{1}{rad} \quad (3.33)$$

Směrnice rovnice přímky křídla bez klapky

Pro křídlo bez klapky nebyla zadána rovnice v přímkovém tvaru jako u profilu, ale pouze úhel nulového vztlaku. Tím pádem je třeba rovnici dopočítat totožným způsobem jako u minulého výpočtu.

$$y = kx + q_{konst} \quad (3.34)$$

$$k = C_{L\alpha_W} \cdot \frac{\pi}{180^\circ} \quad (3.35)$$

$$k = 4,616 \cdot \frac{\pi}{180^\circ} = 0,0806 \quad (3.36)$$

Pro x-ovou souřadnici bodu lze použít úhel nulového vztlaku $\alpha_{0_\infty} = -3,608^\circ$

$$x = -3,608; y = 0 \quad (3.37)$$

$$0 = 0,0806 \cdot (-3,608) + q_{konst} \quad (3.38)$$

$$q_{konst} = 0,2908048 \quad (3.39)$$

Výsledná rovnice ve směrnice tvaru vypadá poté

$$y = 0,0806x + 0,2908048 \quad (3.40)$$

v obvyklejším tvaru takto.

$$c_L = 0,0806(\alpha + 3,608^\circ) \quad (3.41)$$

Směrnice rovnice přímky křídla s klapkou

Výpočet směrnice rovnice přímky u křídla s klapkou se také nijak neliší od výpočtu profilu s klapkou.

$$y = kx + q_{konst} \quad (3.42)$$

$$k = (C_{L\alpha_W})_\delta \cdot \frac{\pi}{180^\circ} \quad (3.43)$$

$$k = 5,147 \cdot \frac{\pi}{180^\circ} = 0,0898 \quad (3.44)$$

$$x = 0; y = 0,2908048 + \Delta C_{LW} = 0,2908048 + 1,235 = 1,5258048 \quad (3.45)$$

$$1,5258048 = 0,0898 \cdot 0 + q_{konst} \quad (3.46)$$

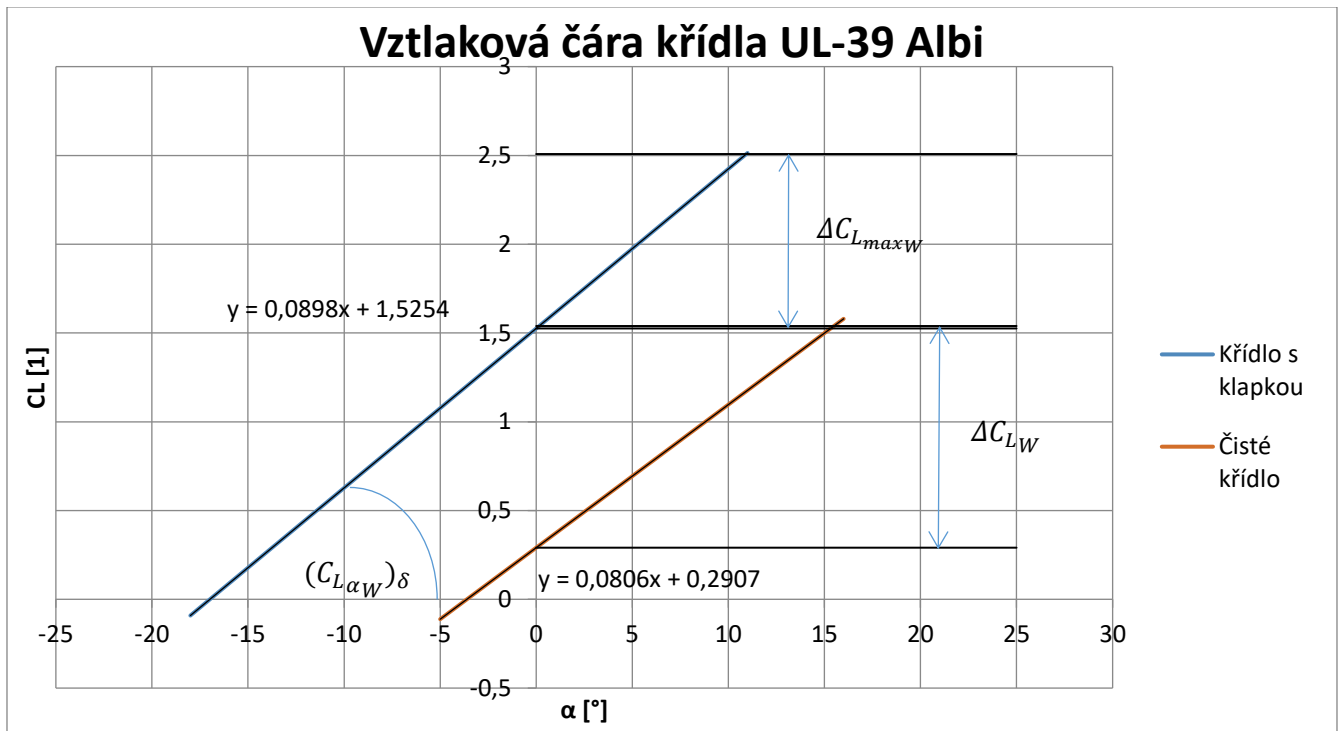
$$q_{konst} = 1,5258048 \quad (3.47)$$

a tedy výsledná směrnicová rovnice je

$$y = 0,0898x + 1,525804 \quad (3.48)$$

a v častějším tvaru opět.

$$c_L = 0,0898(\alpha + 16,99^\circ) \quad (3.49)$$



Graf 2 - Vztlaková čára křídla UL-39 Albi

4 Návrh zjednodušení vztlakové mechanizace

Dle výpočtů uvedených v kapitole 3 lze vidět, že stávající $c_{L_{max}} = 2,739$ je přibližně o 29,3 % větší než námi potřebný. Tím pádem je zvolená mechanizace zbytečně výkonná. V případě volby zachování Fowlerovy klapky je jedno z možných řešení, jak redukovat maximální součinitel vztlaku a zjednodušit mechanizaci, snížit maximální úhel výchylky, popřípadě zmenšit rozpětí klapky na straně křídélka. Pro tyto různé varianty geometrie byly provedeny výpočty a zpracovány do tab.1.

Tabulka 1 - Závislost maximálního součinitele vztlaku na rozpětí a výchylkách Fowlerovy klapky

Rozpětí [%]	62,4	55	50
Výchylka [°]			
35	2,508	2,410	2,341
30	2,376	2,291	2,232
25	2,203	2,136	2,089

Pomocí vzorce

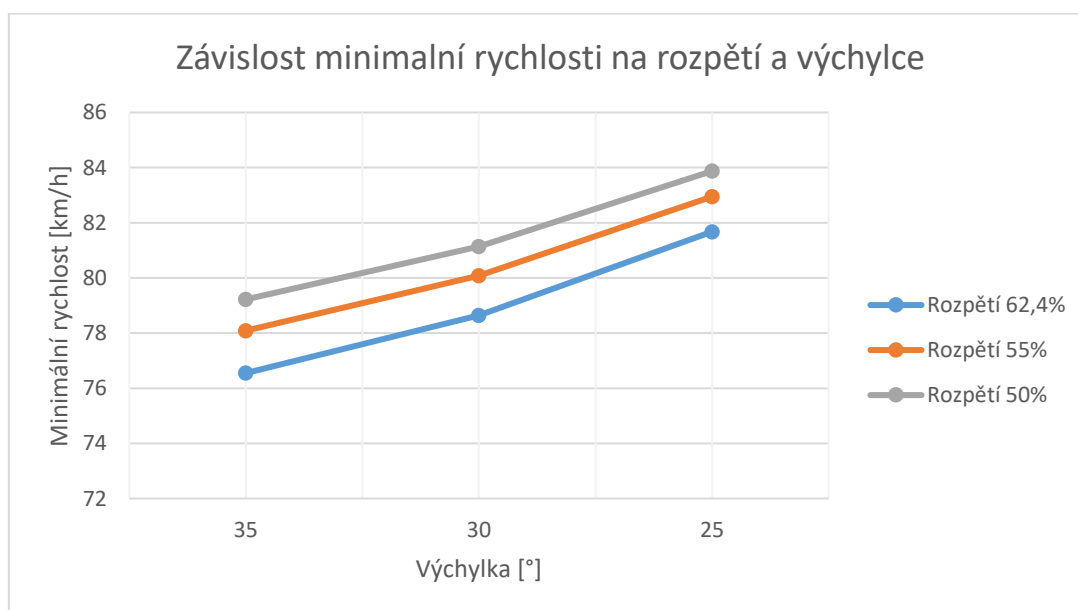
$$v_{min} = \sqrt{\frac{1,05 \cdot 2 \cdot m \cdot g}{c_{L_{max}} \cdot \rho \cdot S}} \quad (4.1)$$

lze poté dopočítat minimální rychlosti pro příslušné maximální součinitele vztlaku

Tabulka 2 - Závislost minimálních rychlostí v km/h na rozpětí a výchylkách u Fowlerovy klapky

Rozpětí [%]	62,4	55	50
Výchylka [°]			
35	76,55	78,09	79,22
30	78,65	80,08	81,14
25	81,68	82,95	83,88

Graficky je závislost minimální rychlosti na rozpětí a výchylce vykreslena ve grafu 3.



Graf 3 - Závislost minimální rychlosti na rozpětí a výchylce u Fowlerovy klapky

Jakožto další způsob redukce maximálního součinitele vztlaku byla zvažována změna vztlakové klapky, a to z Fowlerovy na sklopnou, popřípadě šterbinovou.

4.1 Sklopná klapka

Postup výpočtu je stejný jak u Fowlerovy klapky, pouze místo (3.13) je

$$\Delta c_l = \delta_f \cdot \frac{c_{l\delta}}{(c_{l\delta})_{theory}} \cdot (c_{l\delta})_{theory}^{k'} \quad (4.2)$$

a u křídla se uvažuje stoupání vztlakové čáry s klapkami stejné jako samotného křídla bez klapek.

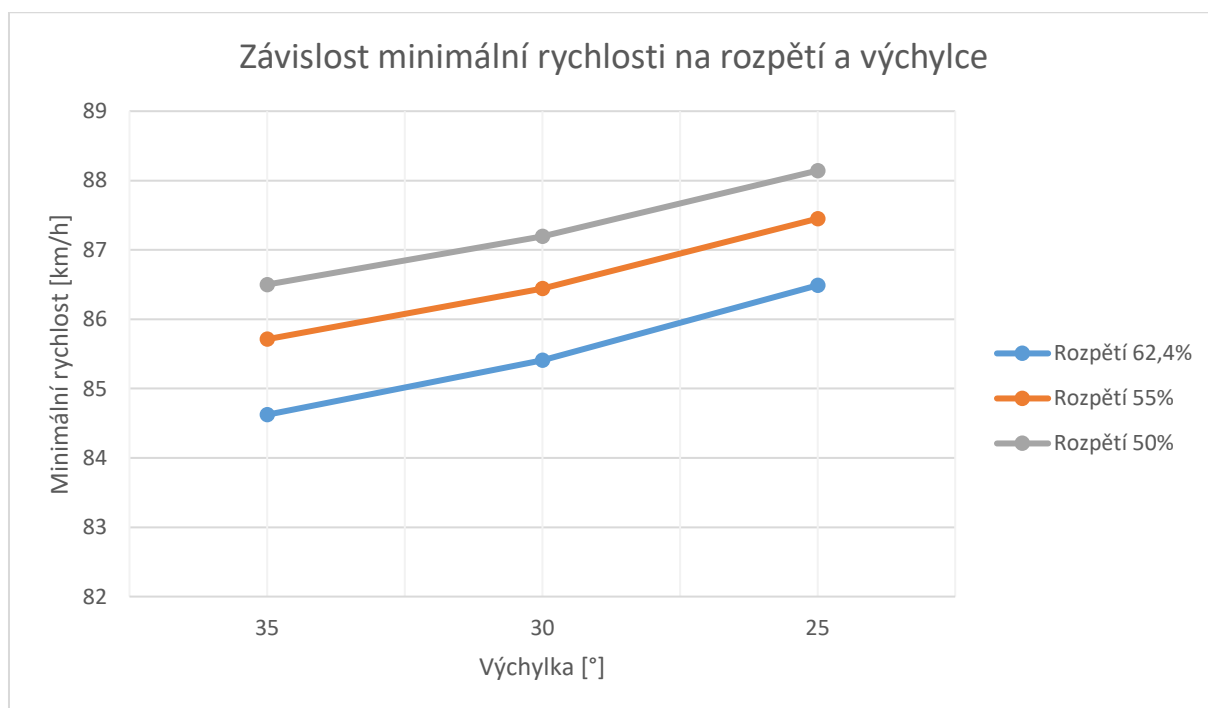
Tabulka 3 - Závislost maximálního součinitele vztlaku na rozpětí a výchylkách u sklopné klapky

Rozpětí [%] \ Výchylka [°]	62,4	55	50
35	2,05	2	1,96
30	2,01	1,97	1,93
25	1,96	1,92	1,89

Pomocí (4.1) lze znova dopočítat minimální rychlosti a graficky je znázornit.

Tabulka 4 - Závislost minimálních rychlostí v km/h na rozpětí a výchylkách u sklopné klapky

Rozpětí [%] \ Výchylka [°]	62,4	55	50
35	84,62	85,71	86,50
30	85,41	86,44	87,19
25	86,49	87,45	88,14



Graf 4 - Závislost minimální rychlosti na rozpětí a výchylce u sklopné klapky

4.2 Štěrbínová klapka

I u štěrbinové klapky je postup výpočtu stejný jako u Fowlerovy, pouze se mění rovnice přírůstku vzlaku (3.13) na

$$\Delta c_l = c_{l\alpha} \cdot \alpha_\delta \cdot \delta_f \quad (4.3)$$

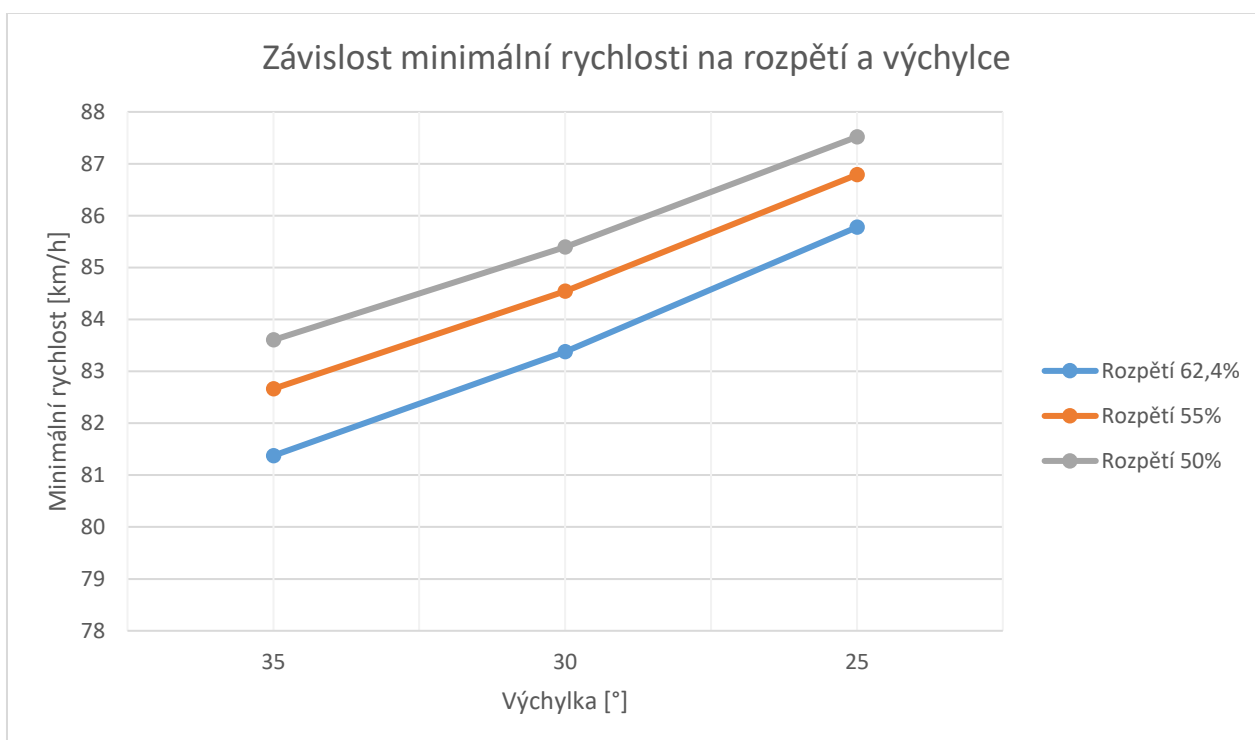
Tabulka 5 - Závislost maximálního součinitele vzlaku na rozpětí a výchylkách u štěrbinové klapky

Rozpětí [%] \ Výchylka [°]	62,4	55	50
35	2,22	2,15	2,10
30	2,11	2,06	2,02
25	2	1,95	1,92

Opět můžeme podle (4.1) určit minimální rychlosti a graficky je znázornit.

Tabulka 6 - Závislost minimálních rychlostí v km/h na rozpětí a výchylkách u štěrbinové klapky

Rozpětí [%] \ Výchylka [°]	62,4	55	50
35	81,37	82,66	83,60
30	83,38	84,54	85,39
25	85,78	86,79	87,52



Graf 5 - Závislost minimální rychlosti na rozpětí a výchylce u štěrbinové klapky

Z pohledu na výpočty lze vidět, že sklopná klapka v žádné variantě rozpětí a výchylek nevyhovuje našim požadavkům na minimální rychlost, a tím pádem nemá smysl se s ní dále zabývat.

U šterbinové lze použít pouze vychylku 35° s rozpětím 62,4 %, popřípadě s rozpětím 55 %, jelikož s oběma variantami se lze dostat pod minimální rychlost 83,3 km/h. Nevýhodou volby této klapky by byla nutná úprava současné formy na výrobu křídla, a to vyříznutím zavětrání stávající Fowlerovy klapky a nahrazením novým tvarem.

U Fowlerovy klapky vyhovují všechny možné zkoušené varianty, kromě možnosti s 25° vychylkou a s 50 % rozpětím klapky. Nespornou výhodou výběru Fowlerovy klapky je, že není nutné nákladně upravovat stávající formu křídla. V případě volby menších vychylek lze také pozitivně brát fakt, že by mohl být konstrukčně zjednodušen čtyřkloubový mechanismus používaný k vysouvání klapky, jelikož by v něm nepůsobily takové síly jako při větších vychylkách.

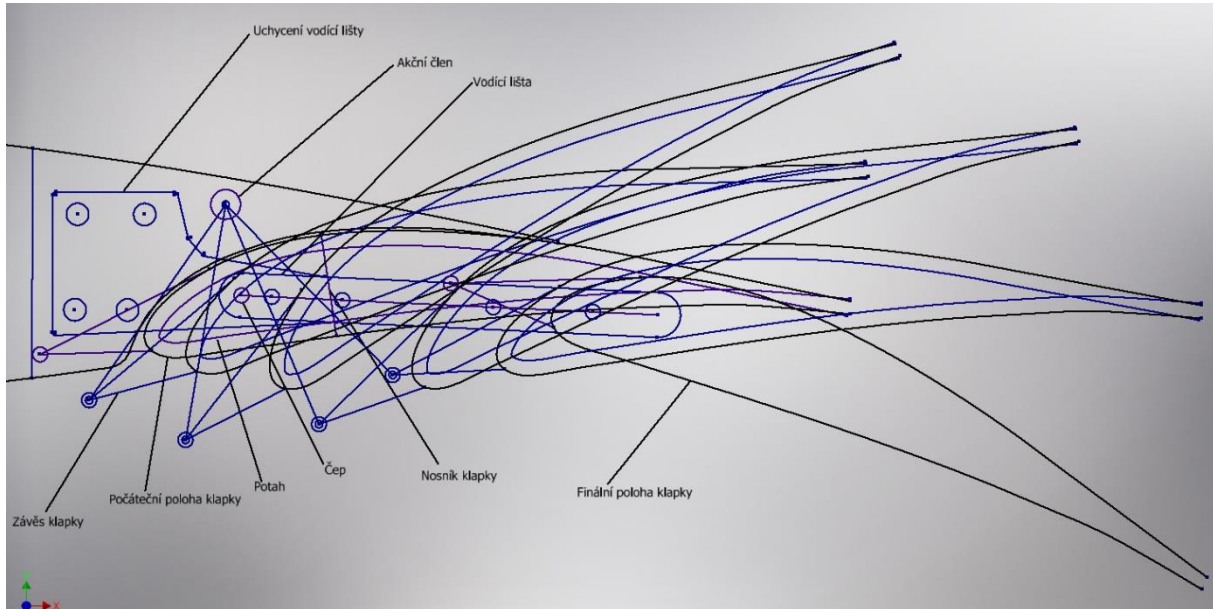
V případě změny rozpětí klapky, jak u šterbinové, tak i u Fowlerovy, by byla nutná i celková délková změna formy křídla v oblasti klapky. Výhodou by však mohlo být možné zvětšení rozpětí křídélka na uvolněném místě, a tím pádem zlepšení obratnosti letounu.

Z předchozích poznatků se jako nejlepší varianta jeví Fowlerova klapka s 25° vychylkou a se zachováním stávajícího rozpětí, tj. 62,4 % s dosažitelnou minimální rychlostí 81,68 km/h.

5 Předběžný návrh úprav konstrukce

V současné době se na pro vysouvání Fowlerovy klapky na letounu používá čtyřkloubový mechanismus. Tento mechanismus je pro navrhované zjednodušení zbytečně složitý. Jako dva jednodušší návrhy byly zvažovány mechanismus s vodící lištou a kolejnicový mechanismus.

5.1 Mechanismus s vodící lištou

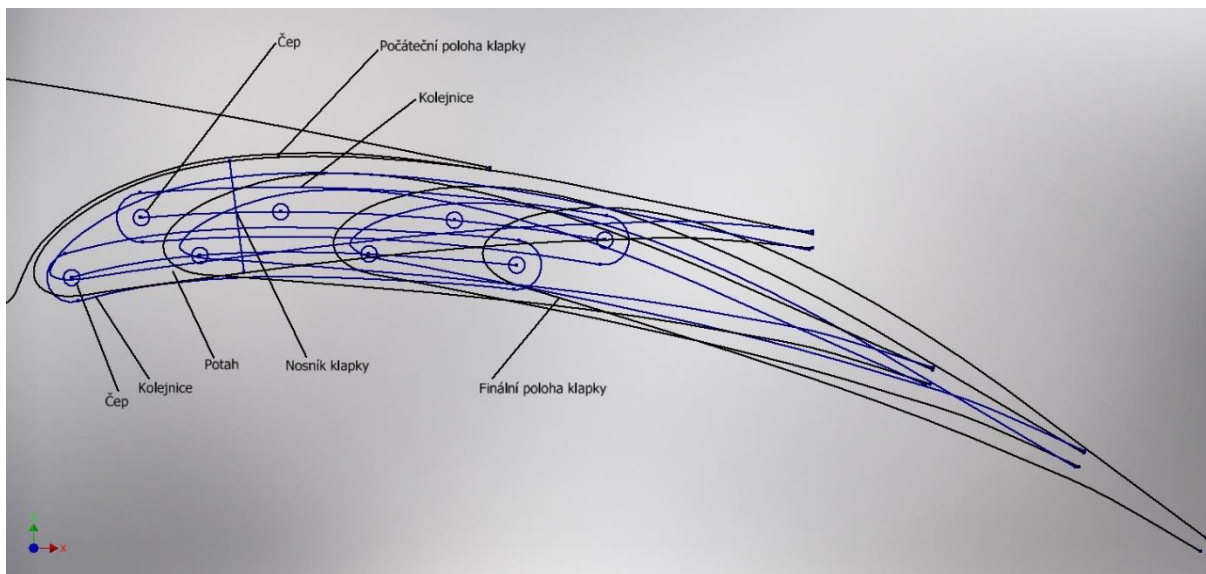


Obrázek 15 - Návrh mechanismu s vodící lištou

Jako jedno z možných řešení mechanizace vztlakové klapky bylo uvažováno použití vodící lišty, jak je uvedeno na obr. 15. Nevýhodou se ukázalo, že aby bylo možné mechanismus schovat do obrysu křídla a vztlakové klapky, tak by postupné vychylování klapky způsobilo konflikt s odtokovou částí křídla a zároveň by vysouvání způsobovalo negativní výchylky, které by byly nebezpečné, neboť by zapříčinily záporný vztlak. Pro správnou trajektorii by akční člen musel být umístěn výše nad a mimo křídlo. Zároveň problémem bylo, že vodící lišta zasahovala do nosníku klapky.

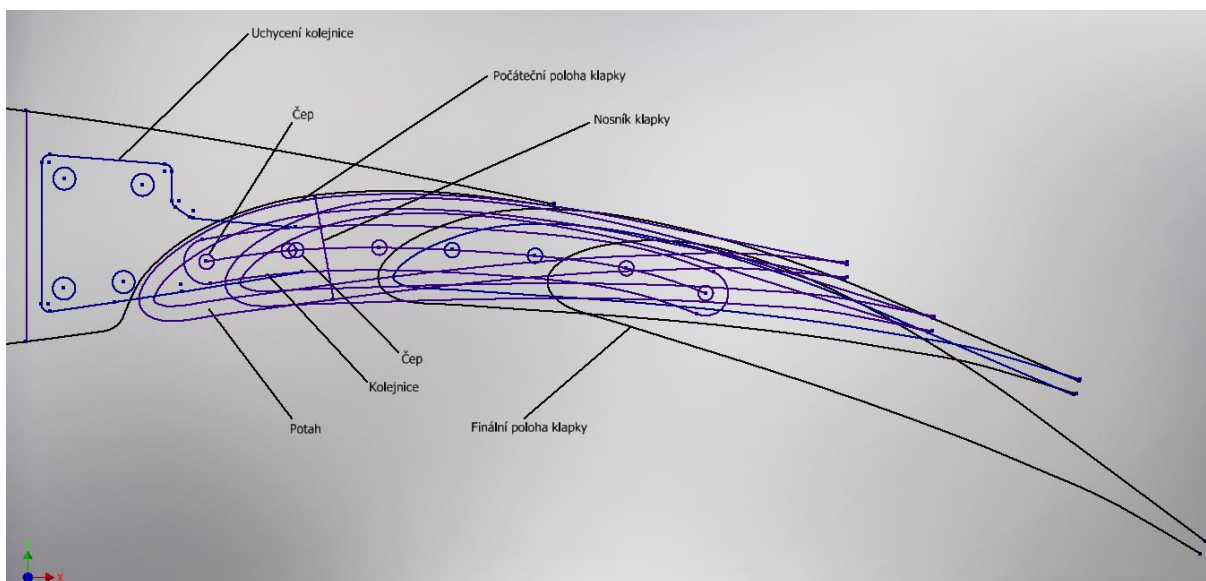
5.2 Kolejnicový mechanismus

Kolejnicový mechanismus byl další z možných variant. Zpočátku byly uvažovány dvě kolejnice, jak lze vidět na obr. 16. Bohužel toto provedení se ukázalo nevhodné z pohledu vysouvání. Klapka postupným vytahováním nabývala už od počátečních poloh značné výchylky, kterých měla nabývat až v konečné fázi vysouvání. Další nevýhodou bylo zakomponování dvou kolejnic dovnitř klapky, kdy kolejnice měly mezi sebou prostorový konflikt a zároveň zasahovaly do nosníku vztlakové klapky. Nakonec by bylo také složité tyto kolejnice uchytnit na křídle.



Obrázek 16 - Návrh kolejnicového mechanismu

Nakonec jako finální řešení byl vybrán kolejnicový mechanismus s jednou kolejnicí, znázorněn na obr. 17. Tento mechanismus má menší průnik s potahem než dvou kolejnicový a zároveň se zde také kolejnice vyhne pásnicím nosníku klapky. Navíc jeho nespornou výhodou je, že si dlouho zachovává pohyb pro zvětšení plochy křídla a až nakonec se sklápí na požadovanou výchylku.

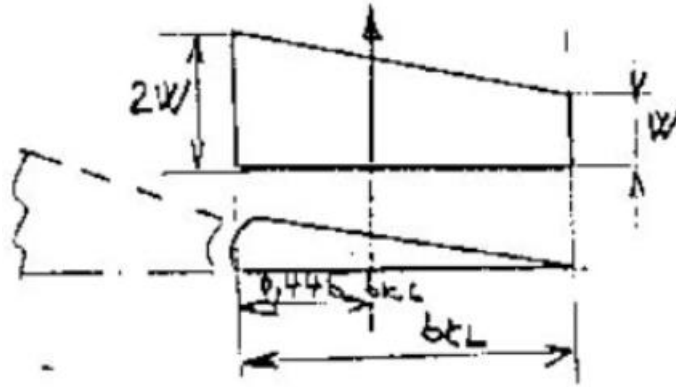


Obrázek 17 - Finální návrh kolejnicového mechanismu

5.3 Stanovení polohy závěsů

Umístění závěsů má vliv na ohybový moment po délce klapky. Závěsy tudíž byly zvoleny v takových místech, aby všechna maxima ohybového momentu byla přibližně stejně veliká. Při stanovování polohy závěsů se vychází z předpisu UL-2, který stanovuje zatížení na vztlakové klapce.

Pro zatížení vztlakové klapky podle předpisu platí



Obrázek 18 - Zatížení vztlakové klapky podle předpisu UL-2 [20]

$$W^= = 23,94 \cdot \frac{m}{S} \cdot \frac{c_y}{1,6} \quad (5.1) [20]$$

pro konvenční vztlakové klapky lze uvažovat $c_y = 1,6$.

Pomocí uprav provedených v [21], lze pro spojitě zatížení uvažovat rovnici.

$$q = W^= \cdot b = 23,94 \cdot \frac{m}{S} \cdot b \quad (5.2) [21]$$

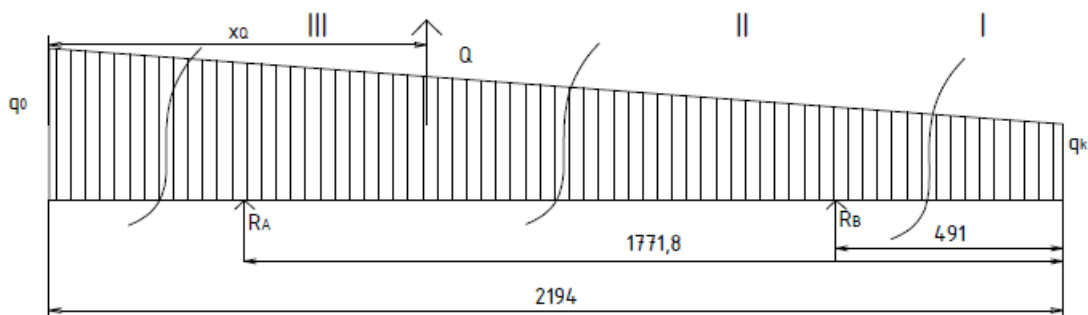
kde pro spojitě zatížení u kořene se dosadí hloubka klapky u kořene

$$q_0 = 23,94 \cdot \frac{m}{S} \cdot b_0 = 23,94 \cdot \frac{600}{8,899} \cdot 0,47034 = 759,2 \frac{N}{m} \quad (5.3)$$

a pro spojitě zatížení na konci klapky se dosadí hloubka klapky na konci.

$$q_k = 23,94 \cdot \frac{m}{S} \cdot b_k = 23,94 \cdot \frac{600}{8,899} \cdot 0,33387 = 538,9 \frac{N}{m} \quad (5.4)$$

Pro výpočet průběhu ohybového momentu je nejdříve potřeba uvolnit vztlakovou klapku.



Obrázek 19 - Uvolnění vztlakové klapky

Rovnice silové rovnováhy do svislého směru.

$$Q - R_A - R_B = 0 \quad (5.5)$$

Momentová rovnice rovnováhy vzhledem k reakci R_B .

$$Q \cdot (L_{kl} - x_Q - 0,491) - R_A \cdot (1,7718 - 0,491) = 0 \quad (5.6)$$

Jako potřebnou sílu nahrazující spojité zatížení lze uvažovat

$$Q = \frac{1}{2} \cdot L_{kl} \cdot (q_0 + q_k) \quad (5.7) [21]$$

$$Q = \frac{1}{2} \cdot 2,194 \cdot (759,2 + 538,9) = 1424 \text{ N} \quad (5.8)$$

a pro její vzdálenost od kořene klapky platí.

$$x_Q = \frac{1}{3} \cdot L_{kl} \cdot \frac{q_0 + 2 \cdot q_k}{q_0 + q_k} \quad (5.9) [21]$$

$$x_Q = \frac{1}{3} \cdot 2,194 \cdot \frac{759,2 + 2 \cdot 538,9}{759,2 + 538,9} = 1,035 \text{ m} \quad (5.10)$$

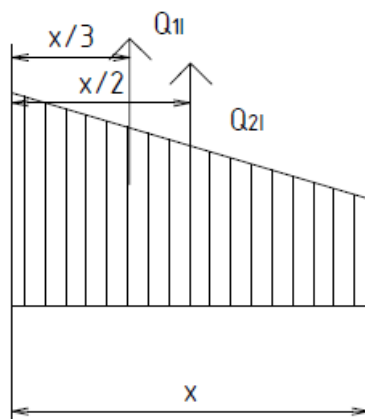
Pro výpočet reakcí R_A a R_B platí.

$$R_A = \frac{Q \cdot (L_{kl} - 0,491 - x_Q)}{1,7718 - 0,491} = \frac{1424 \cdot (2,194 - 0,491 - 1,035)}{1,7718 - 0,491} = 742,69 \text{ N} \quad (5.11)$$

$$R_B = Q - R_A = 1424 - 742,69 = 681,31 \text{ N} \quad (5.12)$$

Pro výpočet průběhu ohybového momentu byla nadále použita metoda řezu.

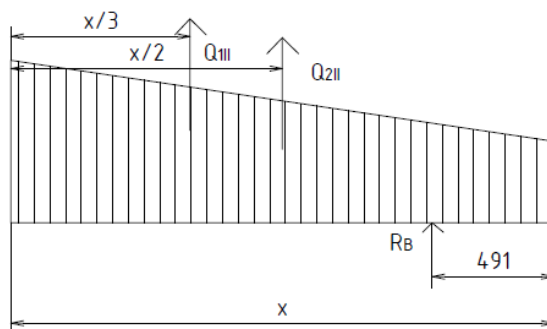
Rovnice ohybového momentu v první oblasti.



Obrázek 20 - Řez první částí

$$M_{0I}(x) = \frac{q_0 - q_k}{6 \cdot L_{kl}} \cdot x^3 + \frac{1}{2} \cdot q_k \cdot x^2 \quad (5.13) [21]$$

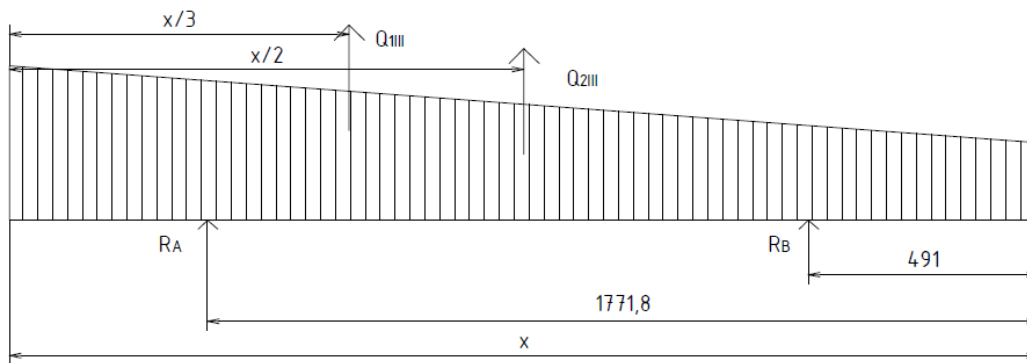
Stejným způsobem lze určit rovnici momentu ohybu i v druhé oblasti.



Obrázek 21 - Řez druhou částí

$$M_{0II}(x) = \frac{q_0 - q_k}{6 \cdot L_{kl}} \cdot x^3 + \frac{1}{2} \cdot q_k \cdot x^2 - R_B \cdot (x - 0,491) \quad (5.14)$$

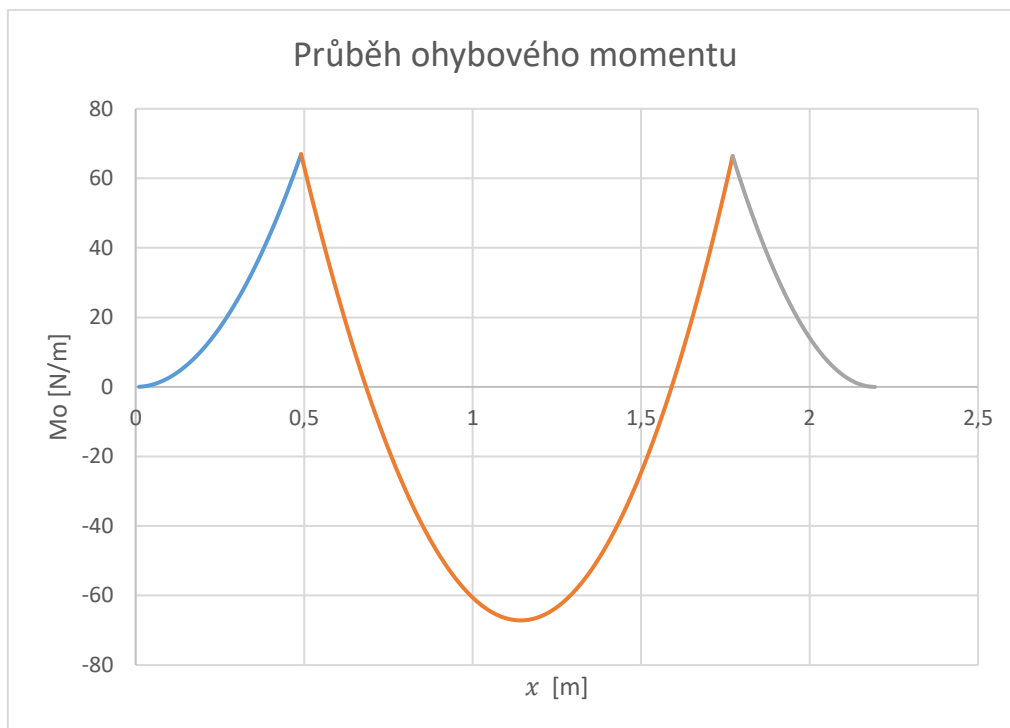
A stejně tak i v třetí oblasti.



Obrázek 22 - Řez třetí částí

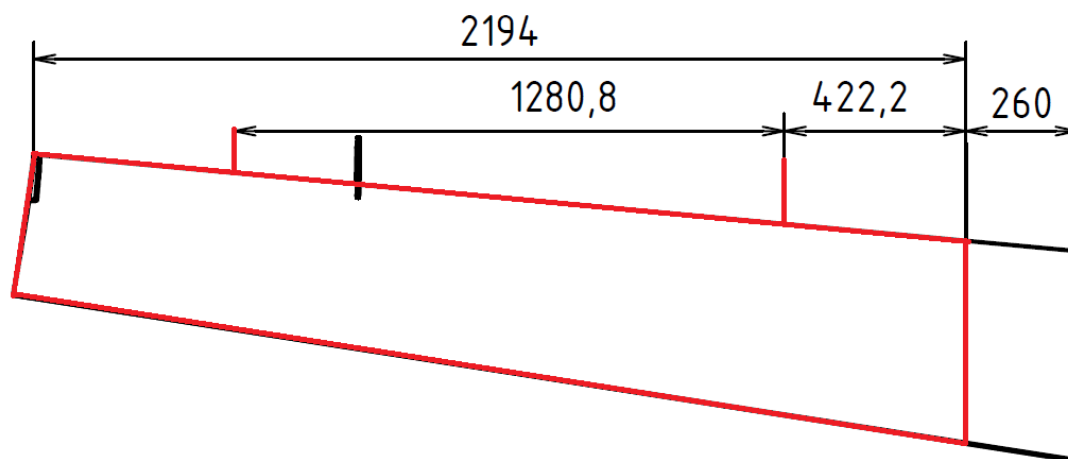
$$M_{0III}(x) = \frac{q_0 - q_k}{6 \cdot L_{kl}} \cdot x^3 + \frac{1}{2} \cdot q_k \cdot x^2 - R_B \cdot (x - 0,491) - R_A \cdot (x - 1,7718) \quad (5.15)$$

Sloučením všech tří rovnic ohybového momentu ze všech oblastí do jednoho grafu lze znázornit celkový průběh ohybového momentu po celé délce vztlakové klapky.



Graf 6 - Průběh ohybového momentu na vztlakové klapce

Na obr. 23 je poté červeně znázorněna změna umístění závěsů, a to z původního jednoho v klapce a jednoho na konci klapky na dva závěsy umístěné v klapce. Klapka je zároveň zkrácena o 260 mm oproti původní uvedené v [21].



Obrázek 23 - Nové umístění závěsů na klapce (červeně) [21]

6 Závěr

V této bakalářské práci byla zpracována studie pro zhodnocení, zda-li by nový předpis umožnil výraznější zjednodušení mechanizace vztlakové klapky letounu UL-39 Albi II.

Součástí práce je rozbor různých druhů vztlakových mechanizací, ať současně používaných, tak i historicky zastaralejších. Zároveň byla provedena i rešerše různých druhů mechanizačních prostředků pro pohyb klapky.

Dále bylo vzhledem k novému nařízení Evropské unie a úpravě předpisu UL-2 zkoumáno současné řešení vztlakové mechanizace, které je navrženo pomocí Fowlerovy klapky s čtyřkloubovým výsuvným mechanismem a rozhodnuto o zjednodušení a konstrukční úpravě, kterou uvolnění předpisu umožňuje. Jako vhodná náhrada byla zvažována sklopná a šterbinová klapka a pro jednotlivé klapky byly provedeny výpočty. Zatímco sklopná klapka v žádné variaci nevyhovovala požadavkům na minimální rychlost, tak u šterbinové bylo možno volit z více variant. Ovšem kvůli nutným úpravám forem na výrobu křídla v případě zvolení jiného druhu klapky, než je stávající, bylo rozhodnuto o zachování Fowlerovy klapky se sníženou výchylkou.

V poslední části je proveden předběžný návrh úpravy vysouvacího mechanismu. S ohledem na konstrukci klapky byly navrhovány dva mechanismy, a to s vodící lištou a s kolejnici. Vzhledem k rozměrům klapky se řešení mechanismu s vodící lištou ukázalo jako nevhodné, a tedy byl zvolen mechanismus s jednou kolejnici. Nakonec byla stanovena poloha závěsů na základě minimalizace ohybového momentu.

Mezi možné náměty, které by na tuto bakalářskou práci mohly navazovat patří kupříkladu konstrukční řešení samotného vysouvacího mechanismu klapky, popřípadě provést aerodynamický výpočet pomocí metody CFD, která bude určitě pesimističtější než zvolené řešení v této práci.

7 Použité zdroje:

- [1] FRIDRICH, Jan a Miroslav KÁBRT. OPT-OUT ve vztahu k činnosti LAA ČR. *Pilot LAA ČR* [online]. 2018, 12/2018, **2018**(12), 2 [cit. 2019-03-2]. Dostupné z: <http://www.laacr.cz/SiteCollectionDocuments/Casopis%20Pilot%20LAA%20CR/Clanky/2018/Pilot%2012-2018%20OPT-OUT%20ve%20vztahu%20k%20C4%8Dinnosti%20LAA%20C4%8CR.pdf>
- [2] UL-39 Albi II. In: *Fakulta strojní ČVUT* [online]. [cit. 2019-07-20]. Dostupné z: <https://www.fs.cvut.cz/veda-a-vyzkum/vysledky/vysledky-projektu/ul-39-albi/ul-39-albi-ii/>
- [3] MIKULA, Jan. *Konstrukce a projektování letadel II*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2005. ISBN 80-01-03338-4.
- [4] SLAVÍK, Svatomír. *Stavba letadel*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1999. ISBN 80-01-01671-4.
- [5] JÍRA, Radoslav. *Aerodynamika a mechanika letu: Aerodynamika*. Praha: Naše vojsko, 1960. ISBN není uvedeno.
- [6] KELLER, Ladislav. *Učebnice pilota 2016: Základy letu*. Cheb: Svět křídel, 2016. ISBN 978-80-87567-89-0.
- [7] AHUNT. Křídlo SportStaru zobrazující uspořádání vztlakové klapky. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 2005 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Evektor-Aerotechnik_Sportstar_C-ILUV_08_showing_split_flap.JPG
- [8] CHVÁLA, Václav. JA 100 Colibri Basic. *Pilot LAA ČR* [online]. 2012, 2012, **2012**(5), 1 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://www.laacr.cz/SiteCollectionDocuments/TP%20ULL%20info%20s%20fotem/p05-27%20TP%20JA100.pdf>
- [9] DOVA AIRCRAFT S.R.O. DV-1 Skylark. *DovaAircraft* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: https://www.dovaircraft.cz/letadla-skylark_cz.php
- [10] KACPERRO. TL-96 Star (OK-EUU 57). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 2008 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/TL_Ultralight_TL-96_Star#/media/File:TL-96_STAR.jpg
- [11] SAINER, Patrik. Skyleader 200 - ultralehká Sova v novém kabátě. *Aeroweb* [online]. 2011, 2011 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.aeroweb.cz/clanky/2874-skyleader-200-ultralehka-sova-v-novem-kabate>
- [12] Ultralehká letadla LEGEND 540. *Aeropilotcz* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.aeropilotcz.com/>
- [13] *Atec 321 Faeta: Flight and operations manual* [online]. 2007, , 39 [cit. 2019-07-19]. Dostupné z: http://www.aero-hesbaye.eu/pdf_doc/Flight%20manual%20FAETA.pdf
- [14] *LAA type acceptance data sheet* [online]. , 6 [cit. 2019-07-19]. Dostupné z: <https://www.lightaircraftassociation.co.uk/engineering/TADs/385%20BRISTELL%20NG5.pdf>
- [15] BURDETT, Mike. G-NTPSBRM Bristell NG5 Speed Wing. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 2017 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:G-NTPS_\(37000698226\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:G-NTPS_(37000698226).jpg)
- [16] PÁVEK, Josef a Zdeněk KOPŘIVA. *Konstrukce a projektování letadel I*. Praha: Ediční středisko ČVUT, 1982. ISBN není uvedeno.
- [17] RUDOLPH, Peter K.C. *High-Lift Systems on Commercial Subsonic Airliners* [online]. , 166 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19960052267.pdf>

[18] TORENBEEK, Egbert. *Synthesis of subsonic airplane design*. Delft University: Delft University Press, 1976. ISBN není uvedeno.

[19] ROSKAM, Jan. *Airplane design: Part VI: Preliminary calculation of aerodynamic, thrust and power characteristics*. Kansas, 1987. ISBN není uvedeno.

[20] *UL-2 I. Část* [online]. 2002, , 58 [cit. 2019-07-02]. Dostupné z: <http://www.laacr.cz/SiteCollectionDocuments/predpisy/UL2-I.pdf>

[21] VALENTA, Jakub. *Návrh vztlakové klapky malého sportovního letounu* [online]. Praha, 2017 [cit. 2019-06-25]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/73137/F2-BP-2017-Valenta-Jakub-Bakalarska%20prace%20-%20Navrh%20vztlakove%20klapky%20maleho%20sportovniho%20letounu.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Bakalářská práce. ČVUT. Vedoucí práce Jiří Brabec.