

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

NÁVRH KONSTRUKCE KŘÍDLA A PODVOZKU KLUZÁKU TST 14 MC

DESIGN OF WING AND LANDING GEAR FOR TST 14 MC GLIDER

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JAN ŠTĚPÁNEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JAROSLAV JURAČKA, Ph.D.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jan Štěpánek

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Stavba letadel (2301T039)**

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 diplomové práce:

Návrh konstrukce křídla a podvozku kluzáku TST 14 MC

v anglickém jazyce:

Design of Wing and Landing gear for TST 14 MC Glider

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V rámci práce navrhnete kompozitní konstrukci křídla a konstrukci podvozku ultralehkého kluzáku TST 14 MC.

Cíle diplomové práce:

Na základě dostupných firemních podkladů a požadavků předpisu ULK stanovte zatížení konstrukce křídla a podvozku. Dále pak detailně zpracujte návrh konstrukce křídla a proveďte pevnostní analýzu. Rovněž navrhnete konstrukci podvozku a opět proveďte pevnostní analýzu. Samostatně navrhnete způsob připojení konstrukce křídla ke kompozitní konstrukci trupu.

Seznam odborné literatury:

- [1] Fred Thomas, Fundamentals of Sailplanes Design, College Park Press, USA, 1999
- [2] Firemní podklady společnosti TeST,
- [3] Předpis ULK

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 20.11.2008

L.S.

prof. Ing. Antonín Pištěk, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Autor této diplomové práce prohlašuje, že tato je jeho dílem a její obsah je v souladu s právním řádem ČR a neporušuje zejména autorská práva jiných osob. Toto prohlášení stvrzuje autor svým vlastnoručním podpisem.

Bc. Jan Štěpánek

Rád bych tímto poděkoval Doc. Ing. Jaroslavu Juračkovi, PhD; Ing. Michalu Mališovi a Ing. Janu Friedlovi z firmy TeST s.r.o. za odbornou pomoc při zpracování této práce.

Dále bych rád poděkoval svým rodičům za podporu v průběhu celého vysokoškolského studia.

A v neposlední řadě děkuji své manželce Adriáně a dceři Janě Alexandře za prostor vytvořený k práci a trpělivost.

Autor

OBSAH:

1	Stanovení vstupních parametrů, cíl diplomové práce.....	3
1.1	Stavební předpis.....	3
1.2	Popis letounu.....	3
1.2.1	Křídlo.....	3
1.2.2	Křídélka.....	3
1.2.3	Vzdušné brzdy.....	3
1.2.4	Trup.....	3
1.2.5	VOP.....	3
1.2.6	Řízení.....	3
1.2.7	Podvozek.....	4
1.2.8	Motorová instalace.....	4
1.2.9	Základní parametry kluzáku.....	4
1.2.10	Třípohledový výkres letounu.....	6
1.2.11	Obálka letových násobků.....	7
2	Aerostatické podklady pro konstrukci křídla.....	8
2.1	Aerodynamické charakteristiky použitých profilů.....	8
2.1.1	Profil FX 66-S-196V1.....	8
2.1.2	Profil FX 66-17-AII-182.....	9
2.2	Definice letadlového souřadného systému.....	10
2.3	Model křídla pro aerodynamický výpočet.....	11
2.4	Výpočet rozložení vztlaku po rozpětí křídla.....	11
2.4.1	Maximální součinitel vztlaku křídla a sklon vztlakové čáry křídla:.....	12
2.5	V – n obálka.....	12
2.5.1	Obratová obálka násobků.....	12
2.5.1.1	Provozní násobky obrátů.....	12
2.5.1.2	Pádová rychlost V_{S0} a V_{S1}	12
2.5.1.3	Pádová rychlost v letu na zádech V_G	14
2.5.1.4	Návrhová rychlost obrátu V_A	14
2.5.1.5	Maximální návrhová rychlost V_D	14
2.5.1.6	Návrhová rychlost při silném poryvu V_B	14
2.5.1.7	Návrhová rychlost letu s vysunutými klapkami V_F	15
2.5.1.8	Význačné rychlosti V - n obálky.....	15
2.5.2	Poryvová obálka násobků.....	15
2.5.3	Celková obálka násobků zatížení.....	16
2.6	Stanovení zatížení křídla.....	17
2.6.1	Uvažované druhy zatížení.....	17
2.6.2	Definice případů zatížení.....	17
2.6.3	Symetrické případy zatížení.....	18
2.6.3.1	Zatížení od aerodynamických sil.....	18
2.6.3.2	Zatížení od hmotových sil.....	19
2.6.3.3	Celkové zatížení křídla.....	20
2.6.4	Nesymetrické (křidélkové) případy zatížení.....	20
2.6.4.1	Počátek klonění.....	20
2.6.4.1.1	Zatížení od aerodynamických sil.....	20
2.6.4.1.2	Zatížení od objemových sil.....	21
2.6.4.2	Ustálené klonění.....	21
2.6.4.2.1	Zatížení od aerodynamických sil.....	21
2.6.4.2.2	Zatížení od objemových sil.....	22
2.6.4.3	Celkové zatížení křídla.....	22
2.6.5	Součinitel bezpečnosti.....	22
2.6.6	Zatížení křídla – výsledky výpočtu.....	23
2.6.7	Rozhodující případy zatížení.....	24
3	Konstrukce křídla.....	25
3.1	Volba základního technického provedení nosné konstrukce.....	25

3.2	Volba materiálů	25
3.2.1	Materiálové charakteristiky pro pevnostní výpočty	26
3.2.2	Materiál PARAGLASS 3.....	26
3.3	Systémový model konstrukce křídla.....	27
3.3.1	Nosník	29
3.3.1.1	Návrh nosníku.....	29
3.3.1.2	Pevnostní kontrola	29
3.3.1.3	Optimalizační návrh pásnic a stojiny	30
3.3.2	Krakorec	32
3.3.2.1	Zatížení krakorce	32
3.3.2.2	Návrh rozměrů krakorce.....	35
3.3.2.3	Pevnostní kontrola krakorce.....	36
3.3.2.4	Návrh a kontrola uložení spojovacích čepů polovin křídla	36
3.3.3	Potahy torzních dutin	37
3.3.3.1	Stanovení středu smyku torzních dutin.....	37
3.3.3.2	Kroutící moment k středu smyku	39
3.3.3.3	Rozhodující případy zatížení pro dimenzování potahů torzních dutin	39
3.3.3.4	Smykové zatížení potahů torzních dutin a stojiny nosníku	40
3.3.3.5	Rozhodující případ zatížení a kritický řez	40
3.3.4	Kořenové žebro	41
3.3.4.1	Zatížení kořenového žebra	41
3.3.4.2	VVÚ na žebro	42
3.3.4.2.1	Odečet geometrických parametrů žebra.....	42
3.3.4.2.2	VVÚ od osamělých sil	42
3.3.4.2.3	VVÚ od smykových toků v potazích torzních dutin	42
3.3.4.2.4	Superponované VVÚ	42
3.3.4.3	Návrh kořenového žebra.....	43
3.3.4.4	Pevnostní kontrola	43
3.3.4.5	Rozhodující případy zatížení.....	44
3.3.4.6	Uložení čepů v kořenovém žebro.....	44
4	Statické podklady pro konstrukci podvozku	46
4.1	Tuhostní charakteristika podvozku.....	46
4.2	Postup stanovení tuhostní charakteristiky podvozku (tlumič + pneu).....	48
4.3	Stanovení pozemního zatížení.....	49
4.3.1	Přistávací podmínky pro hlavní podvozek.....	49
4.3.2	Přistávací podmínky pro příďový podvozek.....	51
4.3.3	Podmínky přistání pro záďový podvozek.....	51
5	Konstrukce podvozku.....	53
5.1	Popis konstrukce hlavního podvozku	53
5.2	Popis konstrukce příďového podvozku	53
5.3	3D modely podvozků	53
6	Napěťová analýza konstrukce podvozku	56
6.1	Hlavní podvozek	56
6.1.1	Zatížení hlavního podvozku svislou a vodorovnou složkou zatížení.....	56
6.1.2	Boční zatížení hlavního podvozku:.....	59
6.2	Příďový podvozek.....	62
6.2.1	Přistání na dva body	62
6.2.2	Přistání na konec křídla – boční síla na příďové kolo	63
6.3	Průkaz únosnosti konstrukce podvozku	64
7	Závěr.....	65
8	Přílohy.....	66
9	Seznam použitých symbolů a zkratk	67
10	Literatura.....	70

1 Stanovení vstupních parametrů, cíl diplomové práce

Cílem diplomové práce je navržení kompozitní konstrukce křídla a konstrukce podvozku pro ultralehký kluzák TST 14 MC. Kluzák vyrábí firma TeST s.r.o., Velké Meziříčí. Verze MC je modifikací verze M. Hlavní změnou oproti předchozí verzi je zatahovací přístávací zařízení a změna materiálu a technologie výroby nosníku křídla.

1.1 Stavební předpis

Průkaz letové způsobilosti bude veden podle předpisu ULKM druhé vydání s přihlédnutím k předpisu LTF-UL 2003 v posledním znění včetně změny LSG-B 01-05.

1.2 Popis letounu

Aerodynamicky řízený ultralehký letoun TST-14 M je dvoumístný samonosný středokřídový jednoplošník s ocasními plochami do „T“ celokompozitové konstrukce.

1.2.1 Křídlo

Křídlo sendvičové konstrukce je vybaveno křídélky a vzdušnou brzdou na horní straně profilu. Nosník křídla tvaru „I“ je tvořený pásnicemi z CFK se stojinou z PE pěny vyztuženou GFK. Spojení křídel je řešeno propojením křídel pahýly nosníků spojených dvojicí čepů. Spojení křídlo – trup a zachycení krutu a posouvající síly je realizováno dvojicí čepů zalaminovaných v kořenovém žeburu.

1.2.2 Křídélka

Křídélka celokompozitové konstrukce jsou na křídlo zavěšena na čtyřech závěsech s osou otáčení na horní ploše křídla.

1.2.3 Vzdušné brzdy

Vzdušné brzdy na horní straně křídla za hlavním nosníkem jsou vyrobeny z CFK a zasouvají se do samostatných šachet.

1.2.4 Trup

Trup sendvičové konstrukce je vyroben v negativní formě společně s kýlvkou.

1.2.5 VOP

VOP sendvičové konstrukce je uspořádána do „T“ a je snímatelná.

1.2.6 Řízení

Řízení kluzáku sestává z řízení výškového kormidla, křidélek, směrového kormidla a ovládání brzdících klapek a podélného vyvážení. Ruční řízení je pákové s přenosem výchylek táhly. Spojení řízení mezi křídlem a trupem je automatické. Dorazy kormidel jsou umístěny na řídicí páce. Výchyly nožního řízení se stavitelnými pedály a dorazy jsou přenášeny lany. Podélné vyvážení je realizováno torsním členem v soustavě řízení VOP a ovládáno pákou po levé straně pilotního prostoru.

Brzdící klapky na horní ploše křídla jsou ovládány pákou a přenos síly je realizován táhly.

1.2.7 Podvozek

Podvozek je tandemový s hlavním kolem pr. 350x120 mm a příďovým kolem pr. 250/80. Hlavní kolo je odpružené a zatahovací do šachty kryté dvířky, příďové kolo je neodpružené a zatahovací do šachty kryté dvířky. Brzda kola je ovládána pákami umístěnými na podlaze pilotního prostoru s přenosem síly bowdenem. Zádový podvozek s ostruhovým kolem pr. 80x30 mm je otočný.

1.2.8 Motorová instalace

Použitý motor ROTAX 503UL-D.C.D.I s chlazením náporovým vzduchem je vybaven reduktorem typu B s převodem 1:2 a pevnou dřevěnou dvoulistou vrtulí průměr 1200, stoupání 850. Motor je uložen na motorovém loži svařeném z tenkostěnných ocelových profilů přes čtyři gumové pružiny pr. 60 mm. Lože je uloženo otočně přes čep pr. 15 mm a kloubová ložiska v konzolách na hlavním žeburu trupu.

Motorová jednotka je vysouvána servem s elektromotorem 12V přes planetovou převodovku a trapézový samosvorný šroub s maticí. Soustava je silově vyvážena plynovými vzpěrami. Servo i vzpěry působí na lože na společném čepu a jejich reakce do trupu je rozvedena přes společný čep do přepážky trupu. Poloha otočného bodu motorové jednotky, úhel vysunutí a malá vzdálenost hmoty motoru od těžiště zajišťuje pouze nevýznamný posun centráže letadla při vysunutí a zasunutí poloze motorové jednotky. Motorová jednotka je ve vysunutí a zasunutí poloze aretována najetím serva a plynové vzpěry na dorazy. Motorový prostor je zakryt dvěma otevíranými samostatným servem.

Pilot ovládá vysouvání a zasouvání motorové jednotky pomocí dvou tlačítek na palubní desce, každé pro jeden směr pohybu. Vlastní proces zajišťuje elektronická jednotka řízená mikroprocesorem, která zabezpečuje automatické ovládání dveří motorového prostoru, odpojení napájení v koncových polohách, signalizaci stavu a odpojení starteru motoru v zasunutí poloze a všech mezipolohách. Ovládání rovněž znemožní zasouvání motorové jednotky, pokud běží motor. Aretace vrtule do polohy pro zasunutí je zajištěna automatickým dorazem.

Palivová nádrž svařená z AL plechu je umístěna v utěsněném laminátovém krytu před přepážkou č. 5. Odvětrání a drenáž jsou řešeny přes šachtu podvozku. Palivo k motoru je vedeno pružnou hadicí přes výměnný palivový filtr, palivový kohout a membránové palivové čerpadlo do dvou bezplovákových membránových karburátorů. Nádrž je vybavena kapacitním palivoměrem. Plnění nádrže je možné přes hadici pr. 25 mm s palivovou zátkou na pravé straně trupu pomocí nálevky s jemným sítkem. Odkalení nádrže lze provést přes šachtu podvozku. Palivová instalace je doplněna ruční nastříkovací pumpou PRIMER pro usnadnění startu studeného motoru.

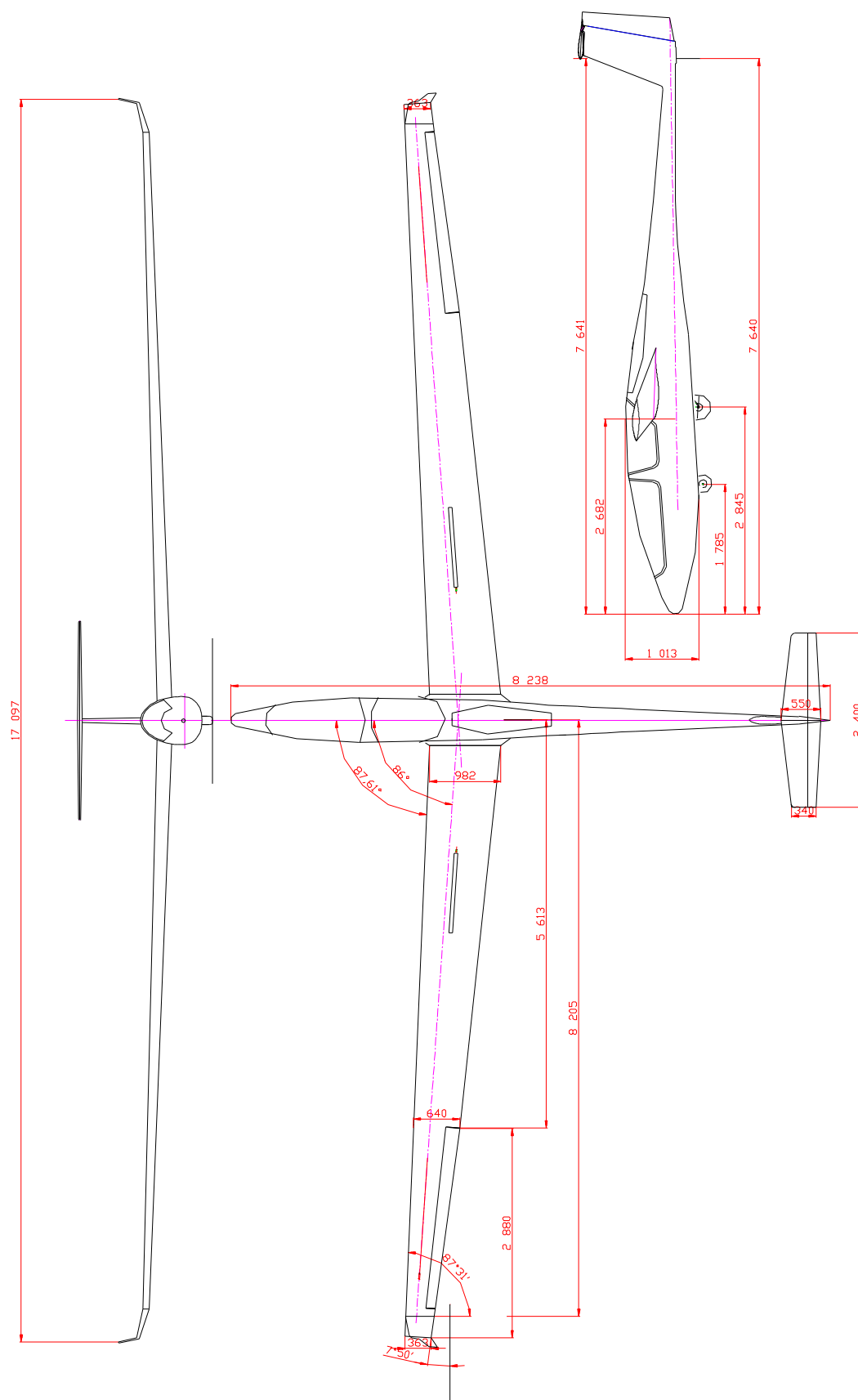
1.2.9 Základní parametry kluzáku

Převzato z [1].

Křídlo		
Rozpětí	17.000	[m]
Meziorozpětí	11.200	[m]
Kořenová tětíva	1.000	[m]
Středová tětíva	0.640	[m]
Koncová tětíva	0.360	[m]

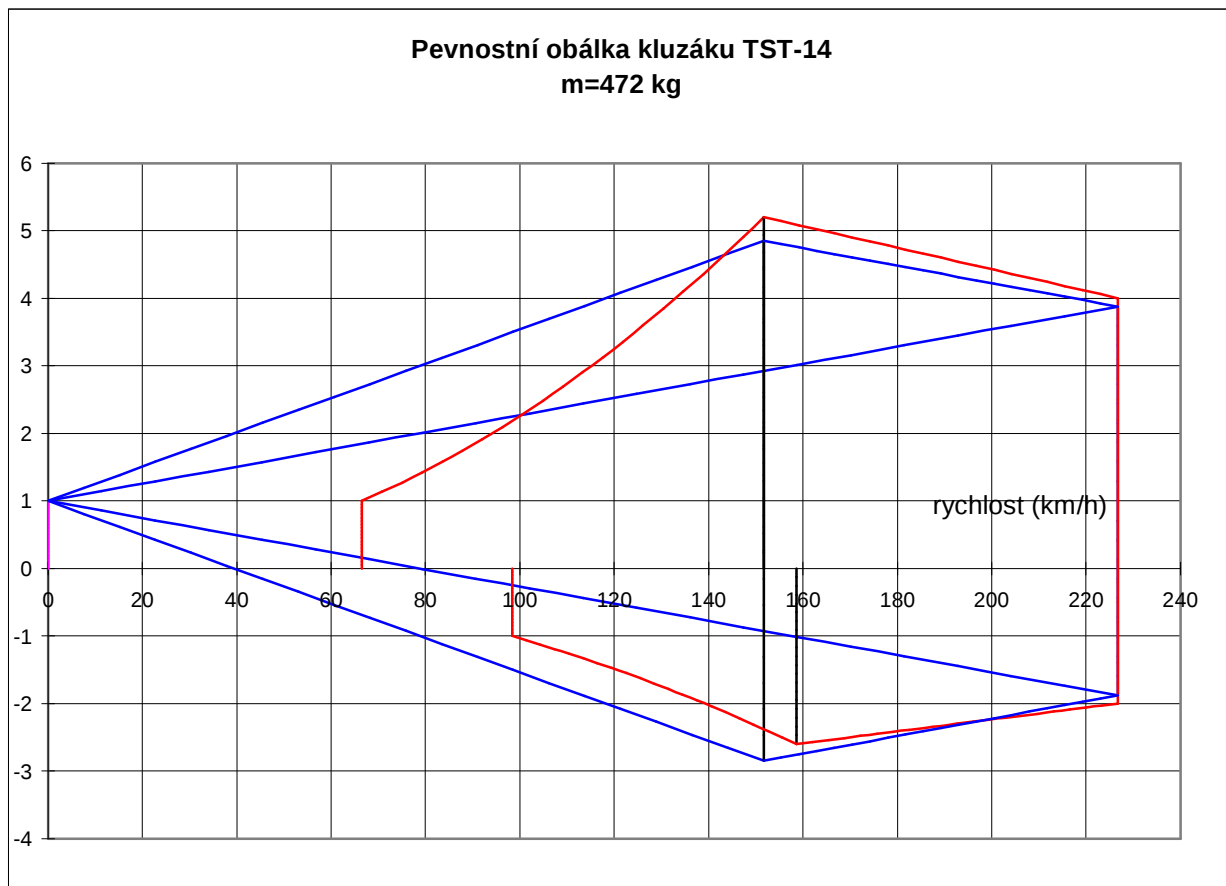
Globální charakteristiky křídla				
Smluvní plocha křídla	12.084	[m ²]		
Štíhlost	23.916	[1]		
SGT	0.711	[m]		
SAT	0.756	[m]		
Xsat	-0.193	[m]		
Ysat	3.632	[m]		
Xac	-0.004	[m]		
NB	45	[%SAT]		
NB od NH	0.147	[m]		
ZC od NH	0.087	[m]		
PC od NH	0.011	[m]		
Profily křídla				
Kořenový profil	FX 66-S-196V1			
Středový profil	FX 66-S-196V1			
Koncový profil	FX 66-17-All-182			
Trup				
Délka	8.240	[m]		
Výška	1.100	[m]		
Šířka	0.640	[m]		
Čelní plocha	0.480	[m ²]		
VOP				
Rozpětí	2.400	[m]		
Plocha	1.068	[m ²]		
Plocha stabilizátoru	0.713	[m ²]		
Plocha výškového kormidla	0.355	[m ²]		
Kořenová hloubka VOP	0.550	[m]		
Koncová hloubka VOP	0.350	[m]		
Úhel nastavení k ose trupu	0	[°]		
Max. výchylka VK nahoru	-20	[°]		
Max. výchylka VK dolů	+16	[°]		
SOP				
Plocha	0.949	[m ²]		
Plocha kýlu	0.655	[m ²]		
Plocha směrového kormidla	0.294	[m ²]		
Hloubka kořenového profilu	0.990	[m]		
Hloubka kormidla kořenového profilu	0.310	[m]		
Hloubka koncového profilu	0.605	[m]		
Hloubka kormidla koncového profilu	0.185	[m]		
Výška SOP	1.190	[m]		
Výchylky kormidel				
Výškové kormidlo	nahoru	20°	dolů	16°
Křídélka	nahoru	24°	dolů	12°
Směrové kormidlo	vlevo	35°	vpravo	35°
Hmotnosti				
Maximální vzletová hmotnost	472	[kg]		
Hmotnost křídla	110	[kg]		
Výkony				
Pádová rychlost v přistávací konfiguraci V _{S0}	65	[km/h]		
Návrhová maximální rychlost V _D	228	[km/h]		
Návrhová obrátová rychlost V _A	150	[km/h]		
Maximální rychlost letu v poryvech V _B	150	[km/h]		
Provozní násobky				
Při rychlosti	V _A =150 km/h	n ₁ =+5.3		
		n ₄ =-2.6		
	V _D =228 km/h	n ₂ =+4		
		n ₃ =-2		

1.2.10 Třípohledový výkres letounu



Obrázek 1: Třípohledový výkres letounu [1]

1.2.11 Obálka letových násobků



Obrázek 2: Letová obálka násobků [1]

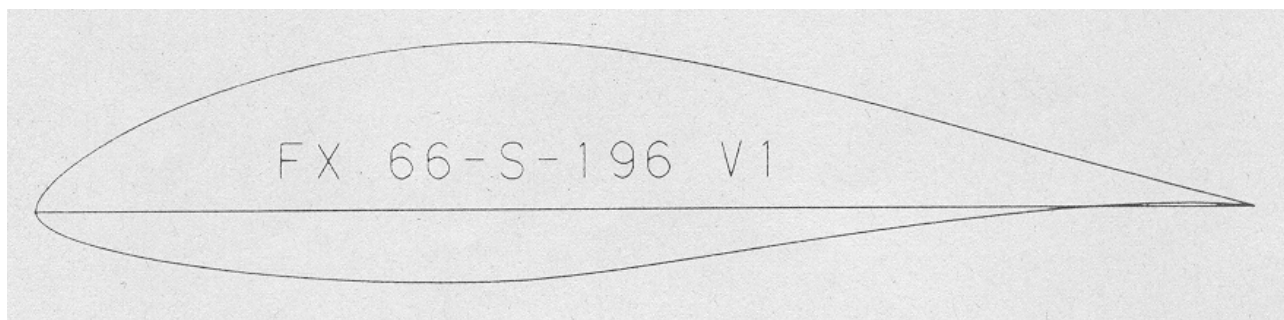
2 Aerostatické podklady pro konstrukci křídla

2.1 Aerodynamické charakteristiky použitých profilů

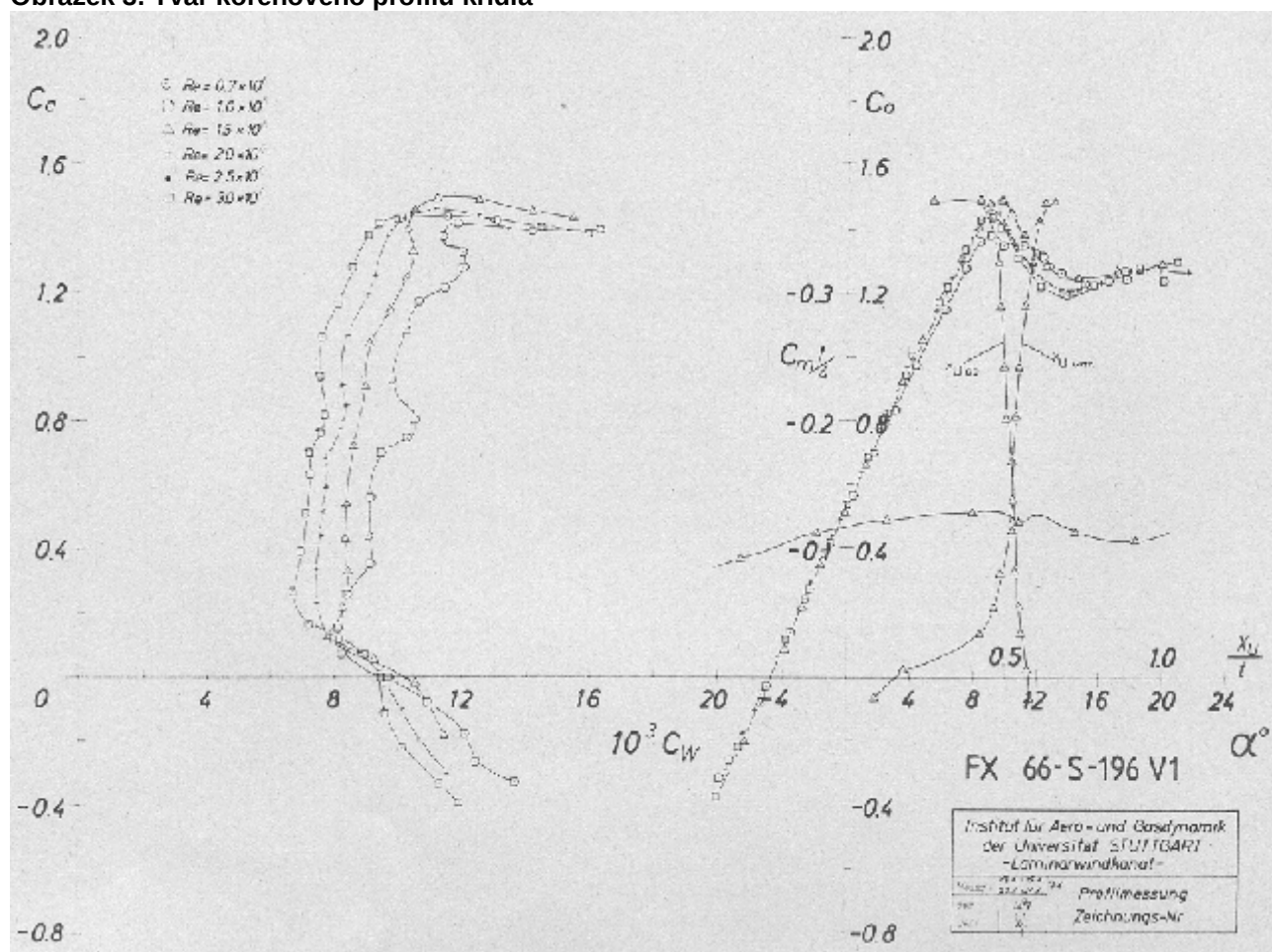
Poláry profilů byly získány z tunelových měření.

Měření proběhlo v laminárním aerodynamickém tunelu na Institutu pro letectví a dynamiku plynů Univerzity ve Stuttgartu v roce 1971.

2.1.1 Profil FX 66-S-196V1



Obrázek 3: Tvar kořenového profilu křídla



Obrázek 4: Poláry, vztlakové a momentové křivky profilu FX 66-S-196V1 měřené v aerodynamickém tunelu

Hodnoty použité pro výpočet rozložení vztlaku v programu GLAUERT III:

Úhel nulového vztlaku	α_0	-4.4	[°]
Sklon vztlakové čáry	a	6.53	[1/rad]
Maximální součinitel vztlaku	C_{Lmax}	1.52	[1]
Součinitel klopivého momentu	C_{mp}	-0.12	[1]

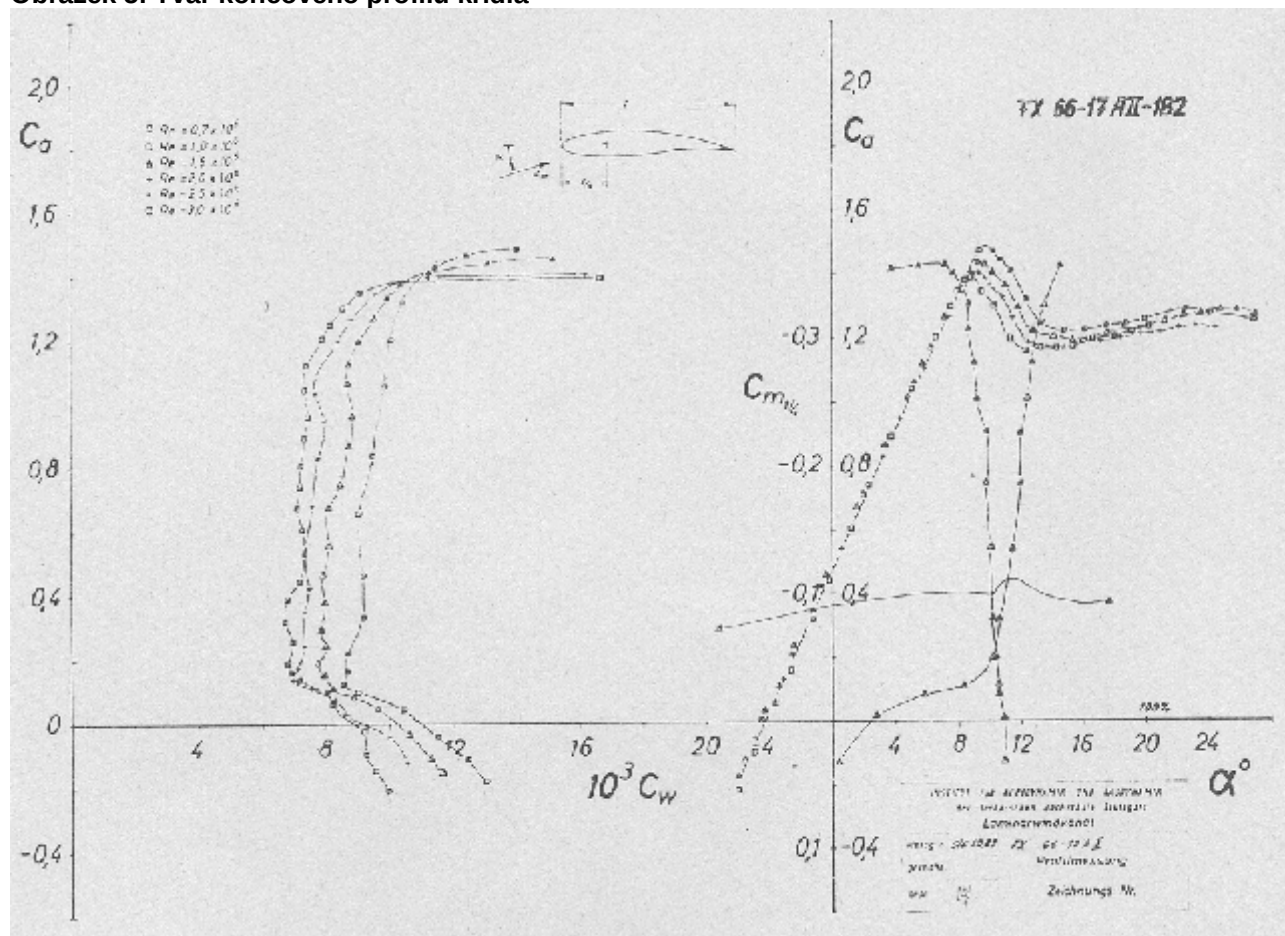
Tabulka 1: Aerodynamické charakteristiky profilu FX 66-S-196 V1

Hodnoty byly odečteny pro $Re = 1000\,000$, což odpovídá proudění okolo kořenového řezu křídla při $V_{S0} = 65\text{ km/h}$. V závislosti na Re se však výrazně mění pouze C_{Lmax} , ostatní charakteristiky zůstávají, v přípustném rozsahu rychlostí pro náš letoun, přibližně konstantní. Zajímavostí je závislost C_{Lmax} na Re v rozmezí $Re = 0.5e6$ až $2e6$, kde s klesajícím Re roste C_{Lmax} .

2.1.2 Profil FX 66-17-AII-182



Obrázek 5: Tvar koncového profilu křídla



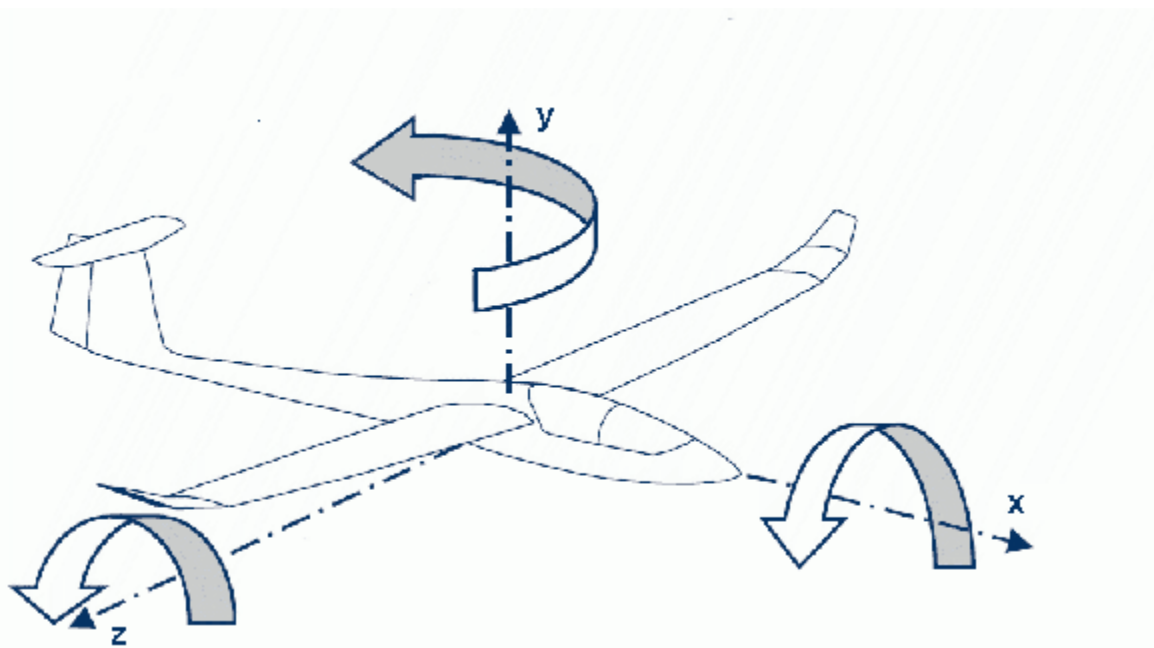
Obrázek 6: Poláry, vztlakové a momentové křivky profilu FX 66-17AII-182

Hodnoty použité pro výpočet rozložení vztlaku v programu GLAUERT III:

Úhel nulového vztlaku	α_0	-3.7	[°]
Sklon vztlakové čáry	a	6.45	[1/rad]
Maximální součinitel vztlaku	C_{Lmax}	1.55	[1]
Součinitel klopivého momentu	C_{mp}	-0.11	[1]

Hodnoty byly odečteny pro Re 700 000, hodnota odpovídá přibližně proudění okolo koncového řezu křídla při $VS0 = 65$ km/h. V závislosti na Re se však výrazně mění pouze C_{Lmax} , ostatní charakteristiky zůstávají, v přípustném rozsahu rychlostí pro náš letoun, přibližně konstantní. Zajímavostí je závislost C_{Lmax} na Re v rozmezí Re 0.5e6 až 2e6, kde s klesajícím Re roste C_{Lmax} . Díky této vlastnosti profilu je na konci křídla, kde je Re pouze 448 000, C_{Lmax} 1.55. Hodnota byla zjištěna programem XFOIL ($N_{crit}=12$ nastavení míry turbulence proudění typické pro motorové kluzáky¹)

2.2 Definice letadlového souřadného systému



Obrázek 7: Definice letadlového SS

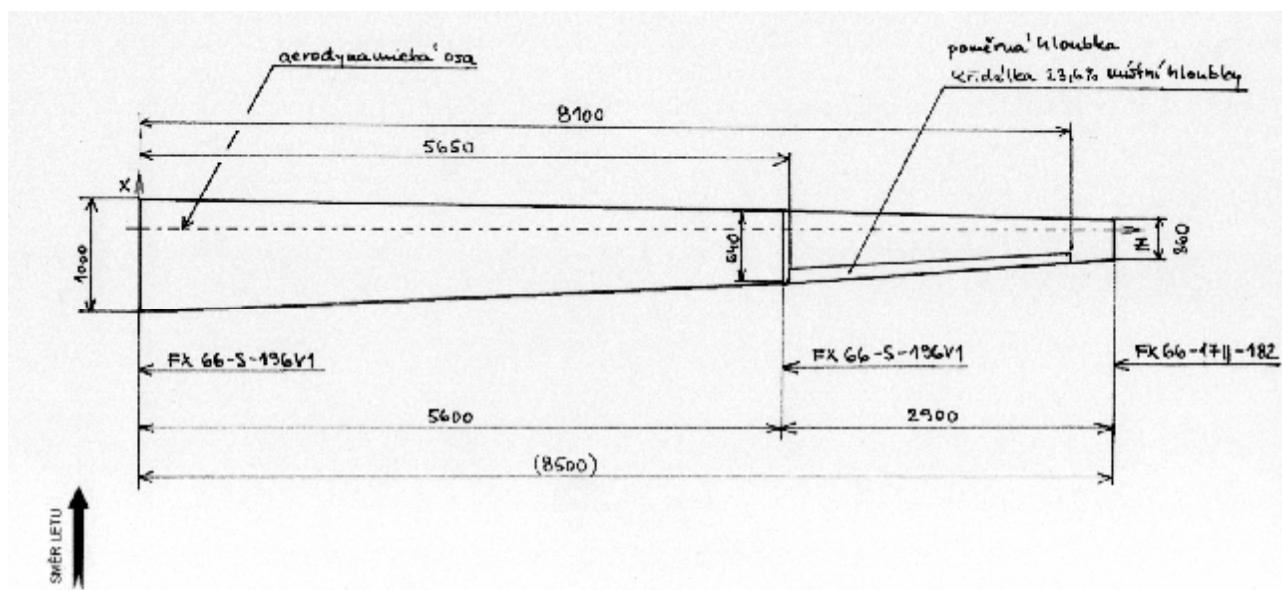
¹ Nastavení parametru N_{crit} bylo provedeno podle doporučení manuálu k programu XFOil

2.3 Model křídla pro aerodynamický výpočet

Rozložení vztlaku po rozpětí křídla bude určeno pomocí programu GLAUERT III. Program získává rozložení součinitele vztlaku Glauertovým řešením Prandtlovy integro-diferenciální rovnice nosné čáry. Metoda řešení je dostatečně přesná pro křídla s velkou štíhlostí (větší než 5) a malou šípovitostí (menší než 5°).

Půdorysný tvar modelového křídla je tvořen dvěma lichoběžníky. Křídlo je modelováno s přímou aerodynamickou osou. Křídlo není geometricky krouceno.

Definici geometrie křídla ukazuje Obrázek 8. Profilové charakteristiky nastavené v jednotlivých řezech byly uvedeny výše.



Obrázek 8: Definiční obrázek geometrie křídla

Zanedbávané vlivy na rozložení vztlaku po křídle:

- winglety na koncích křídla
- interference křídlo-trup
- šípovitost křídla

2.4 Výpočet rozložení vztlaku po rozpětí křídla

Výpočet rozložení byl proveden pro dvě varianty vychylek křidélek - plné vychylky/třetinové vychylky. Vliv křídélka byl modelován zjednodušeným zadáním pomocí hloubky křídélka. V nesymetrických letových případech bylo vypočteno rozložení od aerodynamického tlumení pro bezrozměrnou úhlovou rychlost.

Výpočet rozložení vztlaku byl proveden ve 100 řezech. Vyšší počet řezů umožní následně přesněji určit veličiny, jež se budou integrovat podél rozpětí křídla. Výpis výsledku řešení pro obě varianty je veden jako samostatná příloha č.1.

V programu Glauert III byl dále určen maximální součinitel vztlaku křídla a sklon vztlakové čáry křídla. Celkové rozložení vztlaku je dáno rovnicí níže. Program při zjišťování maximálního součinitele vztlaku křídla po krocích zvyšuje $c_{l \text{ křídla}}$ až do chvíle, kdy c_l celkové dosáhne v některém řezu $c_{l_{\max}}$ profilu, v tomto řezu dojde k odtržení.

$$C_{lcelkové} = C_{ln} \cdot C_{lkřídla} + C_{l0} + C_{lkl} + C_{lkr sym} + C_{lantisym} + C_{tlum}$$

2.4.1 Maximální součinitel vztlaku křídla a sklon vztlakové čáry křídla:

$$C_{L_{max w}} = 1.4885$$

$$\alpha_w = 5.9696 \text{ rad}^{-1}$$

2.5 V – n obálka

V – n obálky jsou zde počítány pro maximální povolenou vzletovou hmotnost $m_{TOW} = 472 \text{ kg}$ a výšku letu 0m MSA.

Hustota vzduchu v 0 m MSA (ULK 1. Všeobecné definice):

$$\rho_0 = 1.225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Tíhové zrychlení v 0 m MSA (ULK 1. Všeobecné definice):

$$g_0 = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

2.5.1 Obratová obálka násobků

2.5.1.1 Provozní násobky obrátů

dle LTF-UL 337/1 (ULK 337 má nižší nároky):

$$n_1 = +5.3$$

$$n_2 = +4$$

$$n_3 = -1.5$$

$$n_4 = -2.65$$

2.5.1.2 Pádová rychlost V_{S0} a V_{S1}

Stavební předpisy LTF-UL i ULK vyžadují pádovou rychlost v přistávací konfiguraci menší nebo rovnou 65 km/hod. Letoun dle [1] není vybaven vztlakovou mechanizací křídla, takže maximální součinitel vztlaku křídla je totožný v cestovní i přistávací konfiguraci. Přistávací konfigurace se liší pouze vytaženým podvozkem, který přidává pouze odpor nikoliv vztlak.

Pádová rychlost v přistávací konfiguraci:

$$V_{S0} = \sqrt{\frac{2 \cdot m_{TOW} \cdot g}{\rho \cdot C_{L_{max w}} \cdot S}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 472 \cdot 9.81}{1.225 \cdot 1.4885 \cdot 12.084}} = 20.50 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 73.8 \frac{\text{km}}{\text{hod}}$$

Jak je vidět, pádová rychlost letounu v přistávací konfiguraci neodpovídá požadavkům předpisů.

Maximální součinitele vztlaku kluzáků se běžně pohybují okolo hodnoty 1.3 až 1.5 Pro ilustraci uveďme:

Kluzák ASW 28:

Jednomístný letoun, křídlo bez vztlakové mechanizace, certifikace podle CS-22

profil: DU 99-147

$$S = 10.5m^2$$

$$m = 325kg$$

$$V_{S1} = 70 \frac{km}{hod} = 19.44 \frac{m}{s}$$

$$C_{Lmax} = \frac{2 \cdot m \cdot g}{r \cdot V_{S1}^2 \cdot S} = \sqrt{\frac{2 \cdot 325 \cdot 9.81}{1.225 \cdot 19.44^2 \cdot 10.5}} = 1.31$$

Kluzák ASW 27B:

Jednomístný letoun, křídlo s vztakovou mechanizací, certifikace podle CS-22

profil: DU 89-134/14

$$S = 9m^2$$

$$V_S = 70 \frac{km}{hod} = 19.44 \frac{m}{s}$$

$$C_{Lmax} = \frac{2 \cdot m \cdot g}{r \cdot V_S^2 \cdot S} = \sqrt{\frac{2 \cdot 320 \cdot 9.81}{1.225 \cdot 19.44^2 \cdot 9}} = 1.51$$

Při návrhu letounu zřejmě nebyl respektován požadavek nízkého plošného zatížení křídla letounu, který je formulován v předpise omezením maximální přípustné pádové rychlosti v přistávací konfiguraci. Rovněž tento logický požadavek vyplývá už z názvu kategorie letové způsobilosti *ULTRALIGHT (velmi lehký)*.

Pro dané geometrické rozměry křídla je evidentní, že pro dosažení pádové rychlosti 65 km/h by měla být maximální hmotnost:

$$m = \frac{r \cdot V_{S0}^2 \cdot S \cdot C_{Lmax}}{2 \cdot g} = \frac{1.225 \cdot \left(\frac{65}{3.6}\right)^2 \cdot 12.084 \cdot 1.4885}{2 \cdot 9.81} = 366kg$$

Tento jednoduchý výpočet pádové rychlosti obsahuje několik nepřesností. Pro výpočet pádové rychlosti by bylo vhodné počítat se součinitelem vztahu celého letounu opraveným o vliv vyvažovacího zatížení na VOP a vliv trupu. Dále profilové charakteristiky byly odečítány nebo dopočítávány v XFOILu pro Re odpovídající pádové rychlosti 65 km/h. Při zvýšené rychlosti proudění vykazují profily použité na křídle nižší C_{Lmax} . Na druhou stranu nebyl zohledněn ani vliv wingletů na koncích křídla, které, pokud jsou správně navrženy, tak rekuperují energii koncových vírů a přeměňují ji z části na dopředný tah a mění rozložení vztaku na konci křídla.

Všechny výše uvedené vlivy (snad kromě vlivu trupu a wingletů) dále zvyšují pádovou rychlost.

Poznamenejme ještě, že i při zanedbání shora uvedených nepříznivých vlivů vychází potřebný součinitel vztaku křídla při rychlosti 65km/h **1.92**.

Efektivita konečného křídla (byť u kluzáku o poměrně velké štíhlosti $\lambda=23.9$) je vždy nižší než u křídla nekonečného rozpětí – tedy profilu. **Maximální potřebný součinitel vztaku profilu by tedy vycházel jistě větší než 2.**

Podle názoru autora kluzák TST 14MC dle [1] jednoznačně nesplňuje podmínku maximální pádové rychlosti 65 km/h podle požadavků letové způsobilosti dle ULK a LTF-UL.

Je několik možností, jak tento rozpor vyřešit:

- Zvýšení plochy křídla – změna geometrie, vznikne zcela nový letoun
- Přidání vztakové klapky – možnost zachování forem, složitější a hmotnější konstrukce křídla, pravděpodobně nebude postačovat jednoduchá otočná klapka, ale bude nutné

navrhnout klapku šterbinovou.

- změna certifikační báze – požadavek přepisu CS-22 na pádovou rychlost je volnější, předpis požaduje maximálně $V_S = 80 \text{ km/h}$.
- průkaz letovým měřením² – autor nepředpokládá, že se podaří korektním a správně provedeným letovým měřením prokázat pádovou rychlost 65 km/h .

Dále bude v této diplomové práci předpokládáno, že se výrobcí podaří navrhnout na stávající geometrii křídla takovou vztlačovou mechanizaci, aby snížil pádovou rychlost v přistávací konfiguraci na potřebnou hodnotu dle požadavků ULK a LTF-UL. Zatížení křídla bude stanoveno pouze pro čistou letovou konfiguraci.

Předpokládaná pádová rychlost v přistávací konfiguraci:

$$V_{S0} = 18.06 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 65 \frac{\text{km}}{\text{hod}}$$

Vypočtená pádová rychlost v čisté konfiguraci:

$$V_{S1} = \sqrt{\frac{2 \cdot m_{\text{TOW}} \cdot g}{r \cdot c_{L_{\text{max w}}} \cdot S}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 472 \cdot 9.81}{1.225 \cdot 1.4885 \cdot 12.084}} = 20.50 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 73.8 \frac{\text{km}}{\text{hod}}$$

2.5.1.3 Pádová rychlost v letu na zádech V_G

Největší negativní součinitel vzlaku je předpokládán dle LTF-UL 331 4.a.

$$C_{L_{\text{min}}} = -0.8$$

$$V_G = \sqrt{\frac{2 \cdot m_{\text{TOW}} \cdot g}{r \cdot |C_{L_{\text{min}}}| \cdot S}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 472 \cdot 9.81}{1.225 \cdot |-0.8| \cdot 12.084}} = 27.96 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 100.7 \frac{\text{km}}{\text{hod}}$$

2.5.1.4 Návrhová rychlost obratu V_A

dle ULK 335 1. (LTF-UL 335 1.)

$$V_A = V_{S1} \cdot \sqrt{n_1} = 20.50 \cdot \sqrt{5.3} = 47.20 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 169.9 \frac{\text{km}}{\text{hod}}$$

2.5.1.5 Maximální návrhová rychlost V_D

dle ULK 335 3. (LTF-UL 335 3.)

$$\left. \begin{aligned} V_D &\geq 1.5 \cdot V_A = 1.5 \cdot 169.9 = 255 \frac{\text{km}}{\text{hod}} \\ V_D &\geq 1.2 \cdot V_H = 1.2 \cdot 150 = 180 \frac{\text{km}}{\text{hod}} \end{aligned} \right\} V_D = 260 \frac{\text{km}}{\text{hod}}$$

Pozn. V_H převzato [1].

2.5.1.6 Návrhová rychlost při silném poryvu V_B

dle ULK 335 3. (LTF-UL 335 4.)

² Výrobce letounu firma TeST s.r.o. se odvolává na letová měření prokazující pádovou rychlost 65 km/h u letounu TST-14M (letounu TST-14M se liší od navrhovaného TST-14MC pouze pevným nezatahovatelným podvozkem), ale po dobu zpracovávání této diplomové práce nebyl tento materiál předložen autorovi k posouzení.

$$\left. \begin{aligned} V_B &\geq 0.9 \cdot V_H = 0.9 \cdot 150 = 135 \frac{\text{km}}{\text{hod}} \\ V_B &\geq V_A = 169.9 \frac{\text{km}}{\text{hod}} \end{aligned} \right\} V_B = 170 \frac{\text{km}}{\text{hod}}$$

2.5.1.7 Návrhová rychlost letu s vysunutými klapkami V_F

dle ULK 335 3. (LTF-UL 335 2.)

$$\left. \begin{aligned} V_F &\geq 1.4 \cdot V_{S1} = 1.4 \cdot 73.8 = 103.3 \frac{\text{km}}{\text{hod}} \\ V_F &\geq 1.2 \cdot V_{SF} = 1.8 \cdot 65 = 117 \frac{\text{km}}{\text{hod}} \end{aligned} \right\} V_F = 120 \frac{\text{km}}{\text{hod}}$$

Předběžný předpoklad $V_{SF} = V_{S0}$.

2.5.1.8 Význačné rychlosti V - n obálky

rychlosti bodů obálky [km/h]				
Pádová rychlost v cestovní konfiguraci	VS1	20.50	m/s	73.8 km/h
Pádová rychlost v přistávací konfiguraci	VS0	18.06	m/s	65.0 km/h
Návrhová rychlost obratu	VA	47.20	m/s	169.9 km/h
Návrhová maximální rychlost	VD	72.22	m/s	260.0 km/h
Pádová rychlost v letu na zádech	VG	27.96	m/s	100.7 km/h
Návrh. rychlost letu s vysunutými vztlak. klapkami	VF	33.33	m/s	120.0 km/h
Návrh. rychlost letu při silném poryvu	VB	47.22	m/s	170.0 km/h

Tabulka 2: Význačné rychlosti obrátové obálky násobků zatížení

2.5.2 Poryvová obálka násobků

Dle předpisu ULK 341 (LTF-UL 341) je uvažován ostře ohraničený kladný a záporný poryv o rychlosti $U=15\text{m/s}$ při rychlosti letu V_B a ostře ohraničený kladný a záporný poryv o rychlosti $U=7.5\text{m/s}$ při rychlosti letu V_D .

Relativní hmotnostní poměr letounu dle předpisu

$$m = \frac{2 \cdot \frac{m_{TOW}}{S}}{r_0 \cdot C_{SGT} \cdot a} = \frac{2 \cdot \frac{472}{12.084}}{1,225 \cdot 0.7108 \cdot 5.9696} = 15.0286$$

Zmírňující součinitel dle předpisu

$$k = \frac{0.88 \cdot m}{5.3 + m} = \frac{0.88 \cdot 15.0286}{5.3 + 15.0286} = 0.65057$$

Násobek při rychlosti letu V_B a při poryvu o rychlosti $U=+15\text{ m/s}$

$$n = 1 + \frac{0.5 \cdot k \cdot r_0 \cdot V_B \cdot a \cdot U}{\frac{m \cdot g}{S}} = 5.40$$

Násobek při rychlosti letu V_B a při poryvu o rychlosti $U = -15$ m/s

$$n = 1 + \frac{0.5 \cdot k \cdot r_0 \cdot V_B \cdot a \cdot U}{\frac{m \cdot g}{S}} = -3.40$$

Násobek při rychlosti letu V_D a při poryvu o rychlosti $U = +7.5$ m/s

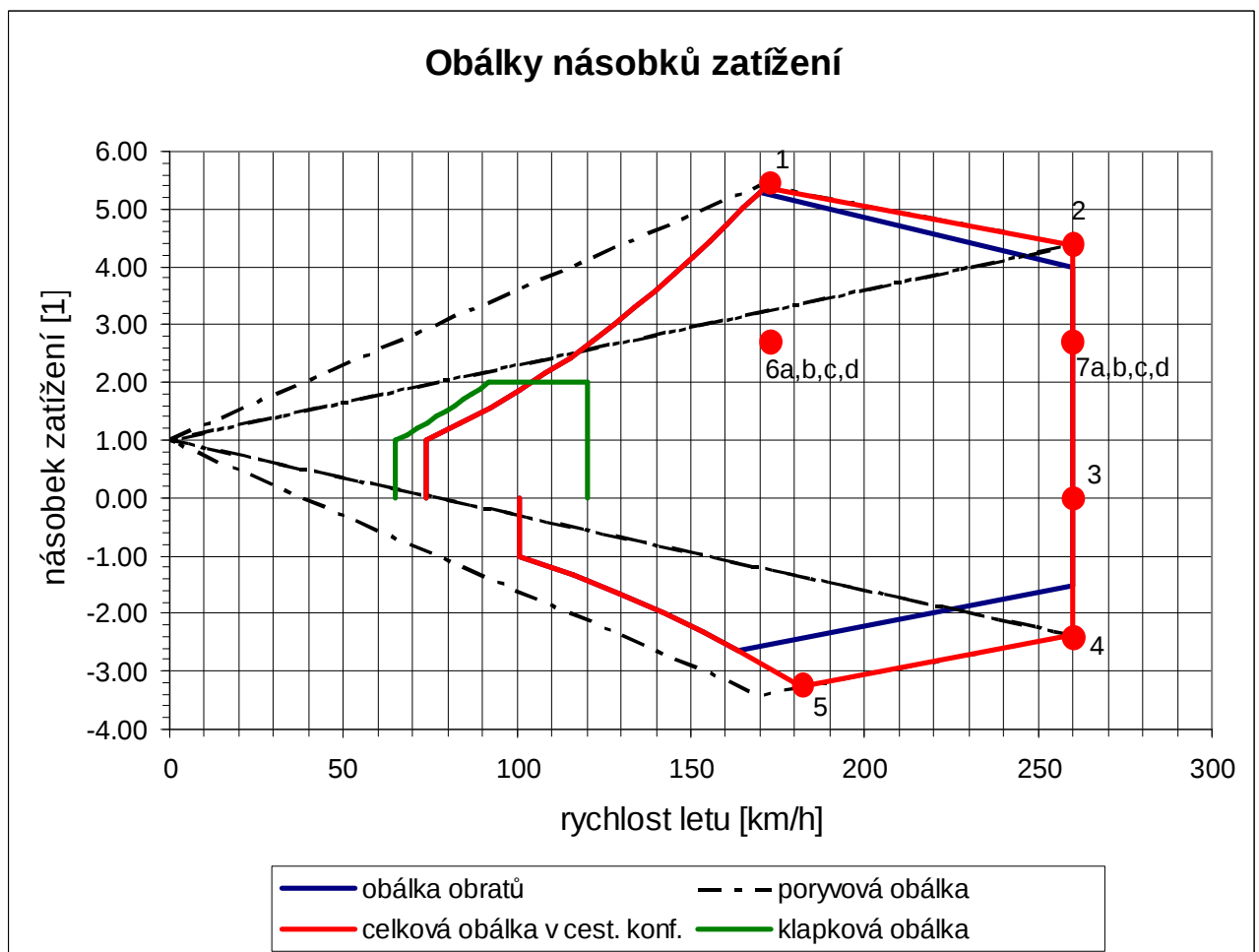
$$n = 1 + \frac{0.5 \cdot k \cdot r_0 \cdot V_D \cdot a \cdot U}{\frac{m \cdot g}{S}} = 4.36$$

Násobek při rychlosti letu V_D a při poryvu o rychlosti $U = -7.5$ m/s

$$n = 1 + \frac{0.5 \cdot k \cdot r_0 \cdot V_D \cdot a \cdot U}{\frac{m \cdot g}{S}} = -2.36$$

2.5.3 Celková obálka násobků zatížení

Kompletní obálku násobků včetně vyznačených případů zatížení ukazuje Obrázek 9. Za zmínku stojí podstatné zvýšení zejména záporných násobků od poryvu a zvýšení maximální rychlosti vlivem zvýšení pádové rychlosti v čisté cestovní konfiguraci oproti V – n obálce uvedené v [1].



Obrázek 9: V – n obálky s vyznačením případů zatížení

2.6 Stanovení zatížení křídla

2.6.1 Uvažované druhy zatížení

V následujících výpočtech budou uvažovány následující druhy zatížení členěné dle fyzikální podstaty:

- Aerodynamické zatížení (výpočet z uváděných rozložení vztlaku)
- Objemové (hmotnostní) zatížení
 - o Tíhové zatížení (od gravitačního zrychlení a letového násobku)
 - o Setrvačné zatížení (od rotačního zrychlení na počátku klonění)

Aerodynamický klopivý moment profilu C_{Mpf} je na vnější části křídla lineárně interpolován mezi hodnotami výše uvedenými pro kořenový a koncový profil. Vliv výchylky křídélka na klopivý moment profilu je uvažován ve tvaru $\Delta C_{Mpf} = -0.01 \cdot d_{aileron}$, kde výchylka křídélka $d_{aileron} > 0$ je směrem dolů.

2.6.2 Definice případů zatížení

Zatížení křídla bude stanovováno pouze pro čistou cestovní konfiguraci. Případy zatížení na klapkové přistávací obálce by neměly být z hlediska zatížení nosné konstrukce křídla rozhodující. (Rozhodující budou pro zatížení klapky a jejich závěsů.)

Konstrukce křídla musí bezpečně přenést všechna zatížení, jež jsou definovány vnitřními body uvnitř obálek zatížení. Jsou tedy definované kombinací násobku zatížení a rychlosti letu. Případy jsou řešeny jako statické.

Potřebný vztlak křídla

$$L = n \cdot m_{TOW} \cdot g$$

Potřebný součinitel vztlaku křídla

$$C_L = \frac{2 \cdot L}{S \cdot r \cdot V^2}$$

Případy zatížení které budou dále řešeny ukazuje Tabulka 3.

Případ	Popis	V [m/s]	n [1]	L [N]	C _{Lw} [1]
1	symetrický manévr na CL _{max} a při kladném násobku od poryvu	47.57	5.38	24925	1.4885
2	symetrický manévr při V _D a kladném násobku od poryvu	72.22	4.36	20200	0.523
3	let střemhlav při VD	72.22	0	0	0
4	symetrický manévr při VD a záporném násobku od poryvu	72.22	-2.36	-10940	-0.283
5	symetrický manévr na maximálním záporném CL a při záporném násobku od poryvu	50.50	-3.26	-15102	-0.8
6a	křídélkový manévr při V _A a násobku n=2.66 - křídélko dolů, plná výchylka, počátek klonění	47.20	2.66	12317	0.747
6b	křídélkový manévr při V _A a násobku n=2.66 - křídélko nahoru, plná výchylka, počátek klonění	47.20	2.66	12317	0.747
6c	křídélkový manévr při V _A a násobku n=2.66 - křídélko dolů, plná výchylka, ustálené klonění	47.20	2.66	12317	0.747
6d	křídélkový manévr při V _A a násobku n=2.66 - křídélko nahoru, plná výchylka, ustálené klonění	47.20	2.66	12317	0.747
7a	křídélkový manévr při V _D a násobku n=2.66 - křídélko dolů, třetinová výchylka, počátek klonění	72.22	2.66	12317	0.319
7b	křídélkový manévr při V _D a násobku n=2.66 - křídélko nahoru, třetinová výchylka, počátek klonění	72.22	2.66	12317	0.319
7c	křídélkový manévr při V _D a násobku n=2.66 - křídélko dolů, třetinová výchylka, ustálené klonění	72.22	2.66	12317	0.319
7d	křídélkový manévr při V _D a násobku n=2.66 - křídélko nahoru, třetinová výchylka, ustálené klonění	72.22	2.66	12317	0.319

Tabulka 3: Definice případů zatížení

2.6.3 Symetrické případy zatížení

Při symetrickém případě zatížení jsou obě poloviny křídla zatíženy shodně.

2.6.3.1 Zatížení od aerodynamických sil

Zatížení od aerodynamických sil působí na aerodynamické ose – spojnici čtvrtinových bodů

$$x_{0.25}(z) = 0.25 \cdot c(z) + x_{NH}(z) \quad [m]$$

Místní součinitel vztaku

$$clc(z) = c \ln(z) \cdot C_{L_w} + cl0(z)$$

Liniové zatížení vztlaku

$$q_L(z) = \frac{1}{2} \rho V^2 \cdot clc(z) \cdot c(z) \quad \left[\frac{N}{m} \right]$$

Posouvající síla od vztlaku

$$T_L(z) = \int_{b/2}^z q_L(z) \cdot dz \quad [N]$$

Ohybový moment od vztlaku

$$M_{bL}(z) = \int_{b/2}^z T_L(z) \cdot dz \quad [N \cdot m]$$

Liniové zatížení klopivého momentu

$$q_{Mp}(z) = \frac{1}{2} \rho V^2 \cdot c_{Mp}(z) \cdot c(z) \quad \left[\frac{N \cdot m}{m} \right]$$

Kroutící moment od liniového zatížení klopivého momentu

$$M_{tp}(z) = \int_{b/2}^z q_{Mp}(z) \cdot dz \quad [N \cdot m]$$

Kroutící moment od vztlaku vlivem šípovitosti

$$M_{tL}(z) = \int_{b/2}^z dM_{tL}(z) \quad [N \cdot m]$$

$$dM_{tL}(z) = T_L(z) \cdot dx_{0.25}(z) \quad [N \cdot m]$$

$$dx_{0.25}(z) = x_{0.25}(z) - x_{0.25}(z + dz) \quad [m]$$

2.6.3.2 Zatížení od hmotových sil

Pro první odhad velikosti objemových sil byl stanoven primitivní hmotový model. Hmotnost křídla byla rovnoměrně rozdělena na půdorysnou plochu křídla. Jediným parametrem, který vstupuje do tohoto modelu, je tedy hmotnost křídla.

Odhadovaná hmotnost křídla dle [1]

$$m_w = 110 [kg]$$

Zatížení od objemových sil působí na těžištní ose křídla. Odhadovaná poloha těžiště všech řezů křídla je v 40 % hloubky profilu (měřeno od náběžné hrany).

$$x_{CG} = 0.4 \cdot c(z) + x_{NH} \quad [m]$$

Tok hmotnosti podél rozpětí

$$q_m(z) = \frac{m_{WING}}{S} \cdot c(z) \quad \left[\frac{kg}{m} \right]$$

Posouvající síla od tíhových sil

$$T_G(z) = - \int_{b/2}^z q_m(z) \cdot g \cdot n \cdot dz \quad [N]$$

Ohybový moment od tíhových sil

$$M_{bG}(z) = \int_{b/2}^z T_G(z) \cdot dz \quad [N \cdot m]$$

Kroutící moment od tíhových sil

$$M_{tG}(z) = \int_{b/2}^z dM_{tG}(z) \quad [N \cdot m]$$

$$dM_{tG}(z) = T_G(z) \cdot dx_{CG}(z) \quad [N \cdot m]$$

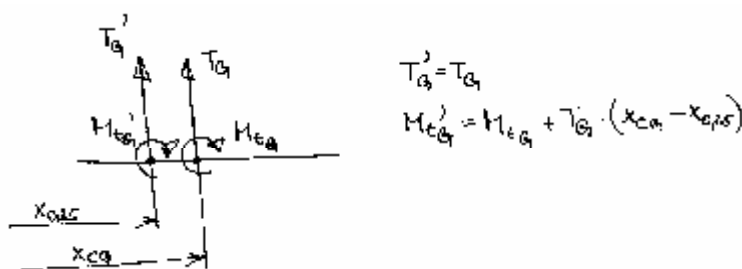
$$dx_{CG}(z) = x_{CG}(z) - x_{CG}(z + dz) \quad [m]$$

2.6.3.3 Celkové zatížení křídla

Celkové zatížení křídla je dáno složením zatížení od aerodynamických a objemových sil.

Vzhledem k tomu, že není dopředu známa vnitřní konstrukce křídla a není tedy znám způsob přenosu posouvající síly a momentů, byla všechna zatížení přepočtena k aerodynamické ose a sečtena.

Velikost posouvající síly a ohybového momentu od tíhových sil se přeložením do aerodynamické osy nemění, avšak přeložená posouvající síla od tíhových sil způsobuje jiný kroutící moment. Vysvětlení situace ukazuje Obrázek 10



Obrázek 10: Přeložení posouvající síly od tíhových sil do aerodynamické osy

Celková posouvající síla

$$T(z) = T_L(z) + T_G(z) \quad [N]$$

Celkový ohybový moment

$$M_b(z) = M_{bL} + M_{bG} \quad [N \cdot m]$$

Celkový kroutící moment k náběžné hraně

$$M_{t0.25}(z) = M_{tL}(z) + M_{tp}(z) + M_{tG}(z) + (x_{0.25}(z) - x_{CG}(z)) \cdot T_G(z) \quad [N \cdot m]$$

2.6.4 Nesymetrické (křídélkové) případy zatížení

Výpočet zatížení křídla pro nesymetrické případy zatížení je podobný výpočtu zatížení pro symetrické případy. Odlišné postupy budou v následujícím textu zdůrazněny.

2.6.4.1 Počátek klonění

Jedná se o případy, které nastávají ihned po vychýlení křídélka z neutrální polohy na určitou výchylku. Vlivem rozdílného rozložení vztaku na pravém a levém křídle vzniká klonivý moment, který udává letounu úhlové zrychlení okolo podélné osy. Tomuto zrychlení se letoun brání setrvačnými silami.

2.6.4.1.1 Zatížení od aerodynamických sil

Místní součinitel vztaku v daném místě z na polorozpětí pro pravou polovinu křídla s výchylkou křídélka dolů

$$c_{lc}(z) = c_{ln}(z) \cdot C_{Lw} + c_{l0}(z) + c_{lkr\text{sym}}(z) + c_{lkr\text{antis}}(z)$$

Místní součinitel vztaku v daném místě z na polorozpětí pro pravou polovinu křídla s výchylkou křídélka nahoru

$$clc(z) = c \ln(z) \cdot C_{Lw} + cl0(z) + clksym(z) - clkrantis(z)$$

Další postup výpočtu zatížení od aerodynamických sil je totožný s výpočty symetrických případů.

Viz. kapitola 2.6.3.1.

2.6.4.1.2 Zatížení od objemových sil

Posouvající síla od tíhových sil je vypočtena shodně jako v symetrických případech. Viz kapitola 2.6.3.2.

Posouvající síla od setrvačných sil

$$T_i(z) = \int_{b/2}^z q_m(z) \cdot z \cdot \varepsilon_x \cdot dz \quad [N]$$

Kde ε_x je úhlové zrychlení klonění křídla okolo osy trupu. Je dáno klonícím momentem a momentem setrvačnosti letounu okolo osy x . Na moment setrvačnosti letounu okolo osy x má nejvýznamnější podíl samotné křídlo.

Moment setrvačnosti křídla

$$J_{xw} = 2 \cdot \int_0^{b/2} z^2 \cdot q_m(z) \cdot dz = 2019 \quad [m^2 \cdot kg]$$

Moment setrvačnosti celého letounu okolo osy x byl stanoven odborným odhadem autora jako:

$$J_x = 1.15 J_{xw} \quad [m^2 \cdot kg]$$

Úhlové zrychlení klonění

$$\varepsilon_x = \frac{M_x}{J_x} = \frac{M_{bLeft} - M_{bRight}}{J_x},$$

kde M_{bLeft} značí ohybový moment v kořeni levé půlky křídla a M_{bRight} ohybový moment v kořeni pravé půlky křídla.

Celková posouvající síla od objemových sil je dána součtem sil od tíhových a setrvačných

$$T_m(z) = T_G(z) + T_i(z) \quad [N]$$

2.6.4.2 Ustálené klonění

Jedná se o případy, které nastávají po uplynutí určitého časového intervalu po výchylce křídélka z neutrální polohy na určitou výchylku. Klonivý moment je vyvážen odporem vzduchu tzv. aerodynamickým tlumením a letoun pak rotuje konstantní úhlovou rychlostí okolo podélné osy. Rozložení součinitele vztaku od aerodynamického tlumení působí vždy v opačném smyslu než akční antisymetrické křídélkové rozložení.

2.6.4.2.1 Zatížení od aerodynamických sil

Místní součinitel pro pravou polovinu křídla s výchylkou křídélka dolů

$$clc(z) = c \ln(z) * clkř + cl0(z) + clksym(z) + clkrantis(z) + cltlum(z)$$

Místní součinitel vztaku pro pravou polovinu křídla s výchylkou křídélka nahoru

$$clc(z) = c \ln(z) * clkř + cl0(z) + clksym(z) - clkrantis(z) - cltlum(z)$$

Další postup výpočtu zatížení od aerodynamických sil je totožný s výpočty symetrických případů.

2.6.4.2.2 Zatížení od objemových sil

Vzhledem k tomu, že letoun kloní konstantní úhlovou rychlostí, je rotační zrychlení nulové a na křídle tak od tohoto pohybu nevznikají žádné setrvačné síly. Křídlo je zatíženo pouze tíhovými silami při daném letovém násobku n . Ve skutečnosti je křídlo namáháno ještě odstředivými silami od rotace. Tyto síly jsou zde zanedbány.

Posouvající síla od tíhových sil se vypočte shodně jako u symetrických letových případů.

Viz. kapitola 2.6.3.2

2.6.4.3 Celkové zatížení křídla

Výpočet celkového zatížení křídla je dále společný pro oba druhy nesymetrických případů zatížení a je prakticky totožný s 2.6.3.3 Celkové zatížení křídla pro symetrické případy zatížení.

Celková posouvající síla

$$T(z) = T_L(z) + T_m(z) \quad [N]$$

Celkový ohybový moment

$$M_b(z) = M_{bL}(z) + M_{bm}(z) \quad [N \cdot m]$$

Celkový kroutící moment k aerodynamické ose

$$M_{t0.25}(z) = M_{tL}(z) + M_{tp}(z) + M_{tG}(z) + (x_{0.25}(z) - x_{CG}(z)) \cdot T_m(z) \quad [N \cdot m]$$

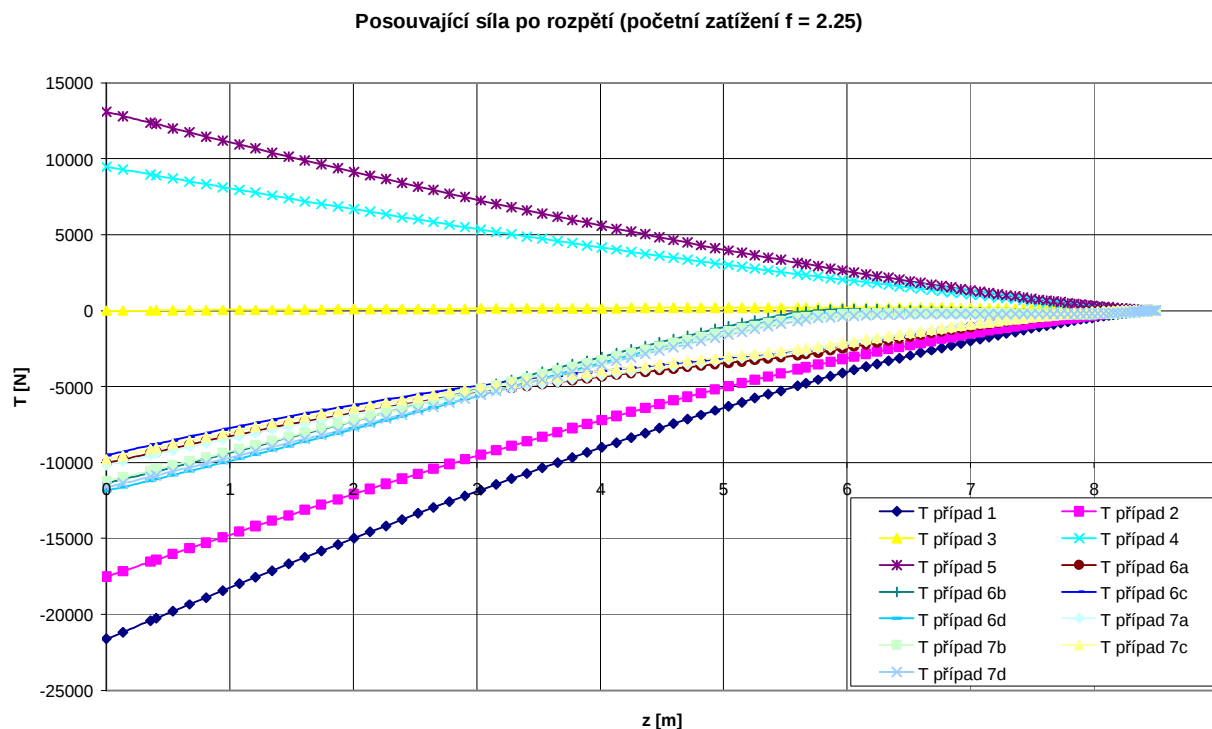
2.6.5 Součinitel bezpečnosti

Početní hodnoty zatížení jsou počítány se součinitelem bezpečnosti $f=2.25$. Tato hodnota součinitele bezpečnosti odpovídá pevnostním zkouškám v laboratorním suchém prostředí za pokojové teploty. Tuto poměrně vysokou hodnotu součinitele bezpečnosti je možné snížit na $f=1.875$, pokud by byla statická pevnostní zkouška křídla provedena za zvýšené teploty 55°C

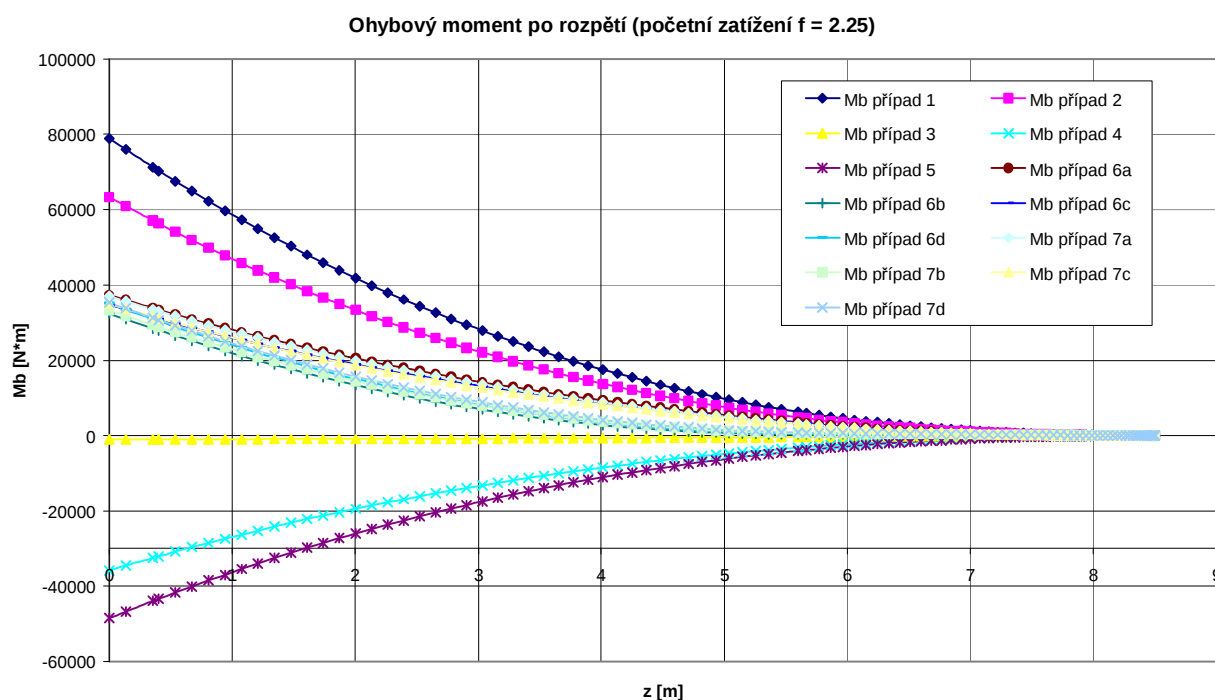
2.6.6 Zatížení křídla – výsledky výpočtu

Výsledky výpočtů pro jednotlivé případy zatížení ukazují tabulky v Příloze 2 a grafy viz. Obrázek 11 a Obrázek 12.

Kroutící moment je vztažen k aerodynamické ose. Skutečný kroutící moment, na který bude muset být dimenzován potah křídla, bude stanoven až poté, co budou známy polohy středů smyku torzních dutin křídla (ty budou stanoveny v kapitole 3.3.3.1.)



Obrázek 11: Případy zatížení - posouvající síla



Obrázek 12: Případy zatížení - Ohybový moment

2.6.7 Rozhodující případy zatížení

Nosník křídla je dimenzován pro přenos posouvající síly a ohybového momentu. Potahy křídla jsou dimenzovány pro přenos kroutícího momentu. Stanovení rozhodujících případů zatížení pro dimenzování potahů není zatím možné, jelikož není ještě znám kroutící moment k středu smyku.

Pásnice nosníku je dimenzována podle ohybového momentu. Rozhodující je jeden z následujících případů:

- Příklad 1 – nejvyšší kladný ohybový moment
- Příklad 5 - nejvyšší záporný ohybový moment

Stojina nosníku je dimenzována pro přenos posouvající síly. Rozhodující je jeden z následujících případů:

- Příklad 5 – nejvyšší kladná posouvající síla
- Příklad 1 – nejvyšší záporná posouvající síla

Nosník bude navrhován a výpočetně kontrolován pro případy zatížení 1 a 5. V každém výpočetním řezu bude stanoven faktor rezervy k návrhovým materiálovým hodnotám (RF). Následně bude vybrán řez s nejnižším RF. Tento řez je kritický. Příklad, při kterém je RF nejnižší, je kritickým případem. Pro takto stanovený kritický případ bude provedena pevnostní zkouška.

3 Konstrukce křídla

3.1 Volba základního technického provedení nosné konstrukce

Základní nosný model byl ponechán stejný jako u výchozího typu (kluzák TST-14M). Byly provedeny jen nejnútnejší zásahy vyplývající z potřeby vztakové mechanizace pro snížení pádové rychlosti.

Výchozí konstrukce je navržena jako skořepinová dvoudutinová jednonosníková sendvičová konstrukce. Nosník přenáší ohybový moment a posouvající sílu. Torzní dutiny přenáší smykem krutové zatížení křídla. Zadní torzní dutina je vymezena od nosníku až k odtokové hraně křídla kromě míst kde jsou křídélka. V místě křidélek je zadní dutina uzavřena stojinou v hloubce cca. 68.9% místní hloubky křídla od náběžné hrany. Otvor po vyříznutých křídélkách je zaslepen krátkými žebírky napojenými na uzavírací zadní stojinu. Nosník křídla končí ve vzdálenosti $z=7.675\text{m}$ od osy symetrie křídla. Na konci křídla je již zatížení posouvající silou a ohybovým momentem natolik nízké, že je schopna tato zatížení bez problémů přenášet jen samotná skořepinová konstrukce potahu. Poloviny křídla jsou spojeny dvojicí svorníků, které spojují navzájem přesahující krakorce levé a pravé poloviny křídla. Z hlediska přenosu ohybového momentu je křídlo průběžné a nezavádí do uložení v trupu žádné reakční síly. Kořenové žebro každé poloviny křídla je opatřeno dvojicí čepů (první čep před nosníkem a druhý čep za nosníkem), které zachycují posouvající síly (ve směru os y a x), krutící moment (okolo osy z) a zavádí tyto silové účinky do kořenového žebra centroplánu trupu. Posouvající síla ve směru osy z a ohybový moment okolo osy y jsou zachycovány stykem žebírek centroplánu trupu a křídla přes gumové podložky nasazené na obou čepech.

Výchozí model byl pozměněn pouze tím, že zadní torzní dutina je ukončena po celé délce křídla stojinou, která je umístěna v konstantní poměrné hloubce 68.9% od náběžné hrany. Odtoková část profilu je využita pro vztakovou mechanizaci a křídélka. Ukončení nosníku bylo ponecháno ve stejné vzdálenosti od osy symetrie křídla tj. $z=7.675\text{m}$. Poznamenejme, že od ukončení nosníku ke konci křídla jsou přední a zadní torzní dutina sloučeny v jedinou.

3.2 Volba materiálů

Primární konstrukce křídla je tvořena výhradně z vláknových kompozitních materiálů. Na konstrukci je použito několika druhů kompozitních materiálů s různou technologií výroby. Avšak vše je podřízeno co nejjednodušší a technologicky nenáročné výrobě. Konstrukce křídla je tvořena z těchto materiálů:

- jemná skelná tkanina označení INTERGLAS 92110, 163g/m² (dále jen 92110)
- základní skelná tkanina označení INTERGLAS 92125, 276g/m² (dále jen 92125)
- jednosměrná uhlíková tkanina označení INTERGLAS 98340, 170g/m² (dále jen 98340)
- 3D skelná tkanina³ PARAGLASS 3, 780g/m² (dále jen PARAGLASS)
- pultrudovaný CFK profil 3.1x3.1mm, výrobce 5M s.r.o. (dále jen CFK profil)

³ tkanina PARAGLASS patří do skupiny tkanin PARABEAM® 3D vyráběných společností PARABEAM.

3.2.1 Materiálové charakteristiky pro pevnostní výpočty

Materiálové charakteristiky byly získány z různých zdrojů. Hodnoty použité pro výpočet ukazují Tabulka 4 a Tabulka 5. Zdroj hodnoty je označen horním indexem:

- (1) – Dimensionierungsrichtwerte für den Segel – und Motorsegelflugzeugbau, IDAFLIEG, březen 1988
- (2) – měřeno na zkušebně LÚ VUT v Brně, 1997 a 2002
- (3) – měřeno firmou Complet, s.r.o., Slovenská Republika, 2008
- (4) – odborný odhad autora

	V_f [1]	t [mm]	$E_{ }$ [MPa]	$E_{\perp}$ [MPa]	E_{χ} [MPa]	$G_{ }$ [MPa]	$G_{\perp}$ [MPa]	G_{χ} [MPa]
92110	0.35 ⁽¹⁾	0.18	-	-	10700 ⁽¹⁾	-	-	7700 ⁽¹⁾
92125	0.35 ⁽¹⁾	0.35	-	-	10700 ⁽¹⁾	-	-	7700 ⁽¹⁾
98340	0.35 ⁽¹⁾	0.21	77000 ⁽¹⁾	-	-	2870 ⁽¹⁾	-	-
PARAGLASS	-	3	-	2600 ⁽²⁾	-	250	250	-
CFK profil	-	3.1	-	-	-	-	-	-

Tabulka 4: Tuhostní charakteristiky použité pro výpočet

	$\sigma_{ pt}$ [MPa]	$\sigma_{ pc}$ [MPa]	$\sigma_{\perp pt}$ [MPa]	$\sigma_{\perp pc}$ [MPa]	$\sigma_{\chi pt}$ [MPa]	$\sigma_{\chi pc}$ [MPa]	$T_{ p}$ [MPa]	$T_{\perp p}$ [MPa]	$T_{\chi p}$ [MPa]
92110	-	-	-	-	90	90	-	-	90 ⁽¹⁾
92125	-	-	-	-	90	90	-	-	90 ⁽¹⁾
98340	420 ⁽¹⁾	420 ⁽¹⁾	-	-	-	-	90	-	-
PARAGLASS	30	30	48 ⁽²⁾	30 ⁽⁴⁾	-	-	-	50	-
CFK profil	1800 ⁽³⁾	1300 ⁽³⁾	-	-	-	-	-	-	-

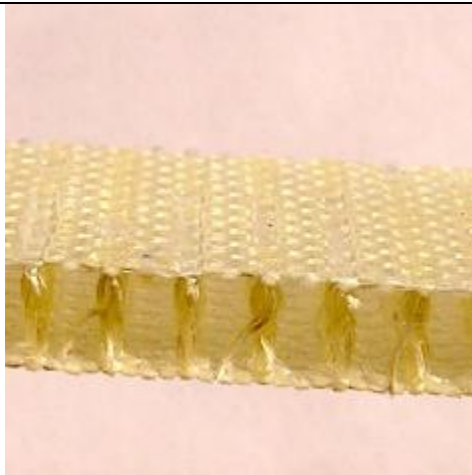
Tabulka 5: Pevnostní charakteristiky použité pro výpočet

3.2.2 Materiál PARAGLASS 3

Je speciální tkanina která je složena ze dvou povrchových vrstev navzájem protkaných vertikálními můstky (vlákny). Můstky se po prosycení tkaniny pryskyřicí napřímí a zaujmou kolmou polohu k povrchovým vrstvám. K napřímení vláken můstků dochází díky existenci kapilárních jevů.

Struktura materiálu po vytvrzení pryskyřice připomíná sendvičový materiál a má do jisté míry podobné vlastnosti. Podobnost však není dokonalá. Na rozdíl od klasického sendviče s pěnovým jádrem nebo voštinou má jádro tvořené vertikálními můstky u tkaniny PARAGLASS jednu nepříjemnou vlastnost – můstky jsou uspořádané do řádků. Toto uspořádání je náchylné ke ztrátě stability řádku můstků, ihned po té dochází ke ztrátě stability tlačené povrchové vrstvy a tím k celkové poruše materiálu.

Uspořádání můstků vytvořené na vytvrzeném vzorku tkaniny a prolomení povrchové vrstvy po ztrátě stability ukazují Obrázek 13 a Obrázek 14.



Obrázek 13: Paraglass 3 - můstky v řádcích



Obrázek 14: Paraglass 3 - prolomení po ztrátě stability můstků (můstky orientované kolmo na linii prolomení)

Popsaná nevýhoda se však týká především ohybového namáhání. Tkanina je použita na potahu křídla, kde bude namáhána zejména smykově. I když i u tohoto typu namáhání se předpokládá výrazné snížení únosnosti vlivem ztráty stability.

Klasická sendvičová konstrukce s konvenčními jádrovými materiály (pěny, voštiny) se navrhuje tak, aby byla pokud možno v celém rozsahu zatížení stabilní a bylo možné využít na maximum pevnost povrchových vrstev. Pokud se při zkoušce prokáže, že konstrukce ztrácí tvarovou stabilitu, zvýší se obvykle tloušťka jádrového materiálu (případně se zvolí jiný jádrový materiál, záleží na charakteru poruchy). Zvýšení tloušťky jádrového materiálu přináší obvykle jen zanedbatelný nárůst hmotnosti. Tento běžný postup není možné ze zřejmých důvodů u 3D tkanin aplikovat. Tkanina se sice vyrábí v různých tloušťkách, avšak tkanina vytvářející vyšší jádro pojme tolik pryskyřice navíc, že hmotnostní nárůst je značný.

Hlavní výhoda nasazení 3D tkaniny je technologická jednoduchost výroby „sendvičového“ materiálu. Výroba probíhá technologií ručního laminování bez potřeby vakuování, které je u výroby sendviče s pěnovým jádrem naprosto nezbytné.

3.3 Systémový model konstrukce křídla

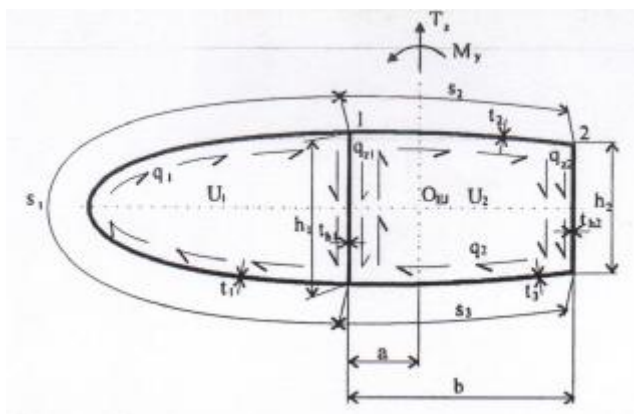
Pro účely předběžného výpočtu byl vytvořen systémový 3D model křídla v software CATIA. Křídlo bylo modelováno pouze vnějšími plochami danými profiláží a rovinými plochami v místě

nosníku křídla a zadní stojiny uzavírající zadní torzní dutinu. Model pro pevnostní výpočet je geometricky totožný s modelem pro aerodynamický výpočet a neobsahuje tedy winglety. Na modelu byly odečteny v 5 řezech: plochy přední a zadní torzní dutiny, délky obvodových křivek torzních dutin, výšky nosníku a uzavírací stojiny. Výsledky odečtu uvádí Tabulka 6.

řez	z [m]	s ₁ [mm]	s ₂ [mm]	s ₃ [mm]	h ₁ [mm]	h ₂ [mm]	U ₁ [cm ²]	U ₂ [cm ²]
1	0.357	725.8	354.5	351.4	190.6	94.1	466.247	540.129
2	3.034	630.1	276.1	270.5	157.5	77.5	341.701	341.435
3	5.6	538.3	200.9	198.9	124.8	61.6	239.355	192.502
4	7.614	463.1	95.5	94.2	75.1	40.9	150.114	54.595
5	8.5	430.9	48.7	48	49.7	31.7	112.005	19.334

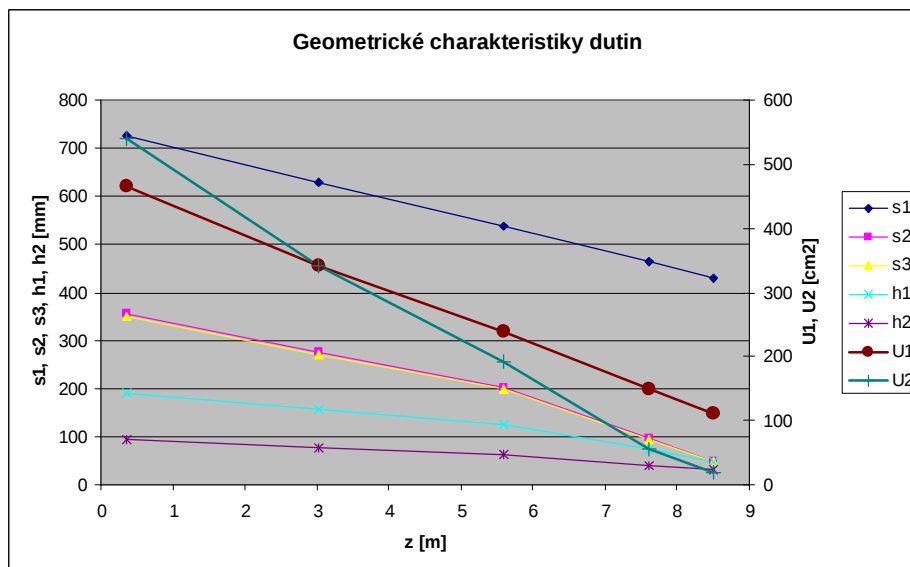
Tabulka 6: Odečtené parametry torzních dutin

Význam jednotlivých odečítaných parametrů ukazuje Obrázek 15



Obrázek 15: Dvoudutinová nosníková konstrukce - určení smykových napětí [2]

Průběh odečítaných parametrů po rozpětí má přibližně lineární charakter, viz. Obrázek 16. To je dáno lineární změnou hloubky profilu po rozpětí (lineární v rámci jednoho lichoběžníkového úseku křídla). Pevnostní kontrola bude probíhat ve všech řezech po rozpětí, kde bylo určováno zatížení. V řezech mezilehlých mezi pěti řezy, kde byly určeny geometrické parametry dutin, jsou parametry dutin lineárně interpolovány vždy mezi dvěma nejbližšími řezy s odečtenými parametry.



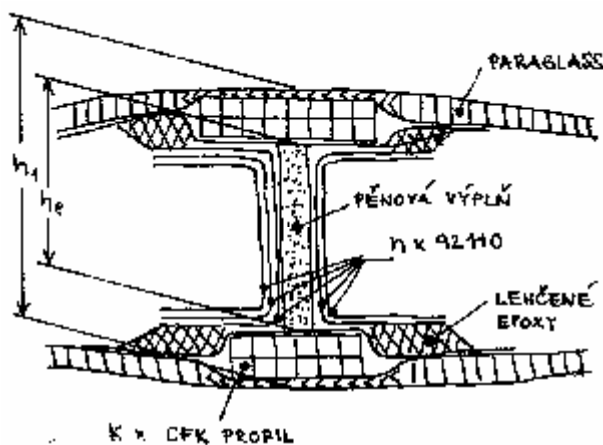
Obrázek 16: Geometrické parametry torzních dutin po rozpětí

3.3.1 Nosník

3.3.1.1 Návrh nosníku

Pro křídlo je navrhován „I“ nosník s pásnicemi skládanými z pultrudovaných uhlíkových profilů a se stojinou ze skelné tkaniny 92110~~X~~. Stojina je sendvičové konstrukce stabilizovaná 6mm tl. jádrem z pěnového materiálu (např. HEREX)

Pro výpočet byl zvolen model nosníku s tenkou stojinou. Geometrické parametry vysvětluje Obrázek 17. Při návrhu dimenzí nosníku je možné měnit počet CFK profilů v horní resp. dolní pásnici nosníku a počet vrstev 92110~~X~~ na stojině (min. dvě vrstvy). Výška nosníku je dána vnější geometrií křídla a skladbou potahu.



Obrázek 17: Geometrické parametry nosníku

3.3.1.2 Pevnostní kontrola

Efektivní výška nosníku

$$h_e = h_1 - 2 \cdot h_f \quad [mm]$$

Plocha pásnice (horní resp. dolní)

$$A_{fu} = j \cdot 3.1^2 \quad [mm^2]$$

$$A_{fl} = k \cdot 3.1^2 \quad [mm^2]$$

Síly v pásnicích

$$N_{fu} = -\frac{M_b}{h_e} \quad [N]$$

$$N_{fl} = \frac{M_b}{h_e} \quad [N]$$

Napětí v pásnicích

$$s_{fu} = \frac{N_{fu}}{A_{fu}} \quad [MPa]$$

$$s_{fl} = \frac{N_{fl}}{A_{fl}} \quad [MPa]$$

$$s_f > 0 \rightarrow RF_f = \frac{S_{pt}}{S_f} \text{ tah (tension)}$$

$$s_f < 0 \rightarrow RF_f = \frac{S_{pc}}{S_f} \text{ tlak (compression)}$$

Smykový tok ve stojině nosníku od posouvající síly

$$q_w = \frac{T}{h_e} \quad \left[\frac{N}{mm} \right]$$

Smykové napětí ve stojině

$$t_w = \frac{q_w}{t_w} = \frac{q_w}{n \cdot t_{92110}} \quad [MPa]$$

Rezerva k maximálním návrhovým hodnotám

$$RF_w = \left| \frac{t_p}{t_w} \right|$$

Poznámka:

Smykový tok, který teče stojinou nosníku, je tvořen smykovým tokem od posouvající síly a smykovými toky, které tečou potahy torzních dutin při kroucení křídla, viz. Obrázek 15. Vliv smykových toků vyvolaných kroučícím momentem je zde zanedbán. Příspěvek k výslednému smykovému toku ve stojině nosníku je dán rozdílem smykových toků první a druhé torzní dutiny. Vzhledem k tomu, že smykové toky v první a druhé torzní dutině jsou téměř shodné, je jejich rozdíl zanedbatelný. Zmíněný efekt je ovšem zanedbán pouze při kontrole nosníku, při kontrole potahů torzních dutin bude znovu kontrolována i stojina nosníku a zde již bude uvažováno současné působení krutu a posouvající síly na stojinu nosníku.

3.3.1.3 Optimalizační návrh pásnic a stojiny

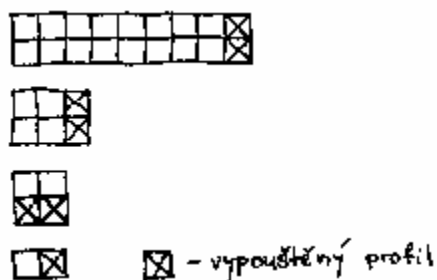
Počet CFK profilů v pásnicích a počet vrstev 92110~~✗~~ na stojině byl navržen jednoduchým optimalizačním algoritmem.

Výše uvedené výpočty byly provedeny pro všechny potenciálně rozhodující případy zatížení ve všech výpočtových řezech. Výpočet je zpracován ve formě tabulky MS Excel. Vstupem jsou počty CFK profilů v horní resp. dolní pásnici a počet vrstev 92110~~✗~~ na stojině. Výstupem je faktor rezervy pro horní resp. dolní pásnici (RF_{tu} resp. RF_{tl}) a faktor rezervy pro stojinu (RF_w). Z faktorů rezervy všech potenciálně rozhodujících případů zatížení byla pro každý výpočetní řez vybrána minimální hodnota, která byla zapsána do zvláštní tabulky. Vstupní hodnoty – počty CFK profilů a vrstev 92110~~✗~~ jsou postupně snižovány pomocí makra v jazyce VBA, tak aby byla minimální hodnota RF pro všechny tři navrhované prvky (pásnice horní, dolní a stojina) v každém výpočtovém řezu vždy jen nezbytně nutně vyšší než 1 (odebrání dalšího profilu či vrstvy by způsobilo pokles RF pod 1). Takto navržený nosník je pak hmotnostně optimalizovaný a je schopen přenést maximální požadované zatížení.

Vypouštění vrstev 92110~~✗~~ na stojině je postupné po jedné. Vypouštění CFK profilů je o něco složitější. Je požadováno, aby měla pásnice obdélníkový průřez bez schodů. Aby byl dodržen tento požadavek, je pásnice v kořeni křídla navrhována jako dvouřadá (je složená ze dvou řad profilů nad sebou) a směrem ke konci křídla se vypouští vždy dvojice profilů (jeden z horní jeden z dolní řady). Takto se postupuje, až se dostaneme k průřezu 4x4 profily. Poté se již nevypustí dva profily nad sebou, ale celá spodní řada. Dále ke konci se vypustí ještě jeden

profil, až zbude na pásnici jediný profil. Ten je ukončen v místě $z=7.675\text{m}$, kde je nosník ukončen.

Postup vypouštění profilů z pásnice přehledně ukazuje Obrázek 18



Obrázek 18: Postup vypouštění CFK profilů z průřezu pásnice

Výsledek optimalizačního návrhu ukazuje

Dolní pásnice	
z [m]	počet CFK profilů
0.357 ÷ 0.539	2 x 14
0.539 ÷ 0.674	2 x 13
0.674 ÷ 0.808	2 x 12
0.808 ÷ 0.942	2 x 11
0.942 ÷ 1.343	2 x 10
1.343 ÷ 1.741	2 x 9
1.741 ÷ 2.265	2 x 8
2.265 ÷ 2.780	2 x 7
2.780 ÷ 3.284	2 x 6
3.284 ÷ 3.895	2 x 5
3.895 ÷ 4.481	2 x 4
4.481 ÷ 5.254	2 x 3
5.254 ÷ 6.244	2 x 2
6.244 ÷ 6.924	1 x 2
6.924 ÷ 7.675	1 x 1

Tabulka 7 a Tabulka 8.

Horní pásnice	
z [m]	počet CFK profilů
0.357 ÷ 0.539	2 x 19
0.539 ÷ 0.674	2 x 18
0.674 ÷ 0.808	2 x 17
0.808 ÷ 0.942	2 x 16
0.942 ÷ 1.076	2 x 15
1.076 ÷ 1.210	2 x 14
1.210 ÷ 1.476	2 x 13
1.476 ÷ 1.873	2 x 12
1.873 ÷ 2.135	2 x 11
2.135 ÷ 2.524	2 x 10
2.524 ÷ 2.907	2 x 9
2.907 ÷ 3.284	2 x 8
3.284 ÷ 3.653	2 x 7
3.653 ÷ 4.133	2 x 6
4.133 ÷ 4.595	2 x 5
4.595 ÷ 5.148	2 x 4
5.148 ÷ 5.767	2 x 3
5.767 ÷ 6.597	2 x 2
6.597 ÷ 7.223	1 x 2
7.223 ÷ 7.675	1 x 1

Dolní pásnice	
z [m]	počet CFK profilů
0.357 ÷ 0.539	2 x 14
0.539 ÷ 0.674	2 x 13
0.674 ÷ 0.808	2 x 12
0.808 ÷ 0.942	2 x 11
0.942 ÷ 1.343	2 x 10
1.343 ÷ 1.741	2 x 9
1.741 ÷ 2.265	2 x 8
2.265 ÷ 2.780	2 x 7
2.780 ÷ 3.284	2 x 6
3.284 ÷ 3.895	2 x 5
3.895 ÷ 4.481	2 x 4
4.481 ÷ 5.254	2 x 3
5.254 ÷ 6.244	2 x 2
6.244 ÷ 6.924	1 x 2
6.924 ÷ 7.675	1 x 1

Tabulka 7: Optimalizovaný počet CFK profilů v horní resp. dolní pásnici nosníku

Stojina nosníku	
z [m]	počet vrstev 92110
0.357 ÷ 0.539	9
0.539 ÷ 0.674	8
0.674 ÷ 1.609	7
1.609 ÷ 2.907	6
2.907 ÷ 4.133	5
4.133 ÷ 5.254	4
5.254 ÷ 6.924	3
6.924 ÷ 7.675	2

Tabulka 8: Optimalizovaný počet vrstev 92110 na stojině nosníku

Výsledek pevnostní kontroly nosníku je uveden v Příloze 2. Z výsledků kontroly se ukazuje, že kritickým případem zatížení je Příklad 1. Kritická místa jsou celkem tři:

- horní pásnice $z=1.476\text{m}$, $\sigma=-1285.3\text{ MPa}$, $RF= 1.01$
- dolní pásnice $z=1.609\text{m}$, $\sigma=1795.3\text{ MPa}$, $RF= 1.00$
- stojina $z=1.609\text{m}$, $\tau=89.6\text{ MPa}$, $RF= 1.00$

Pevnostní zkouškou se tedy bude prokazovat únosnost konstrukce při Příkladu 1.

3.3.2 Krakorec

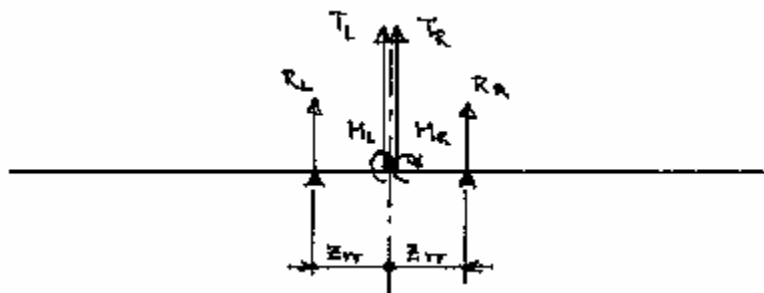
Krakorec je obdélníkového průřezu. Je tvořen průběžnými pásnicemi nosníku křídla a částečně průběžnou stojinou nosníku. Stojina nosníku se plynule mění z tenkého sendviče do tvaru obdélníkového boxu.

3.3.2.1 Zatížení krakorce

Krakorce obou polovin křídla jsou propojeny dvojicí čepů. Ohybový moment přenášejí průběžné uhlíkové pásnice. Posouvající sílu přenáší smykovým tokem stojina krakorce.

Nyní je potřeba určit zatížení krakorce. Uvolněme nejprve celé křídlo (levou i pravou polovinu uvažujeme pevně spojenou) od zbytku letounu (trupu). Křídlo je spojeno s trupem dvojicí čepů na obou kořenových žebrech. Tyto čepy odebírají nejen posouvající sílu, ale zároveň zavádí

kroutící moment křídla do kořenového žebra centroplánu. Z hlediska zatížení krakorce je však podstatné pouze odebrání posouvající síly. Do křídla jsou zavedeny po uvolnění reakční síly v místě čepů viz. Obrázek 19. Směry sil a momentů jsou kresleny v kladných směrech.



Obrázek 19: Uvolnění celého křídla od trupu

Silová rovnováha uvolněného křídla

$$R_L + R_R + T_L + T_R = 0$$

Momentová rovnováha uvolněného křídla k ose symetrie

$$M_L + M_R + R_L \cdot z_{rr} - R_R \cdot z_{rr} = 0$$

kde

T_L je záporně vzatá posouvající síla v ose symetrie (sdruženého případu zatížení),

T_R je záporně vzatá posouvající síla v ose symetrie (vyšetřovaného případu zatížení),

$M_L = M_b$ v ose symetrie (sdruženého případu zatížení)

$M_R = -M_b$ v ose symetrie (vyšetřovaného případu zatížení)

Vysvětlení:

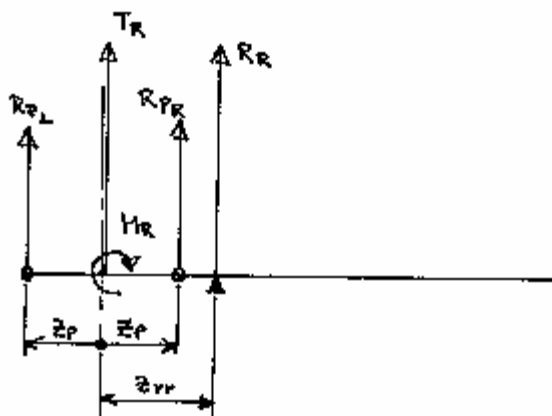
Případy zatížení byly počítány vždy pro pravou polovinu křídla. Sdružený případ zatížení je případ zatížení na levé polovině křídla. Například je-li výchylka křídélka na pravém křídle nahoru pak výchylka křídélka u sdruženého případu je směrem dolů.

Reakční síly působící v kořenových žebrech

$$R_R = \frac{M_L + M_R + (-T_L - T_R) \cdot z_{rr}}{2 \cdot z_{rr}}$$

$$R_L = -R_R - T_L - T_R$$

Dále byly obě poloviny křídla uvolněny od sebe navzájem. Do pouzder svorníků jsou opět zavedeny reakční síly. Uvolnění pravé poloviny křídla ukazuje Obrázek 20.



Obrázek 20: Uvolnění pravé poloviny křídla

Vzdálenost spojovacího čepu od osy symetrie křídla

$$z_p = 0.250m$$

Silová rovnováha uvolněné pravé poloviny křídla

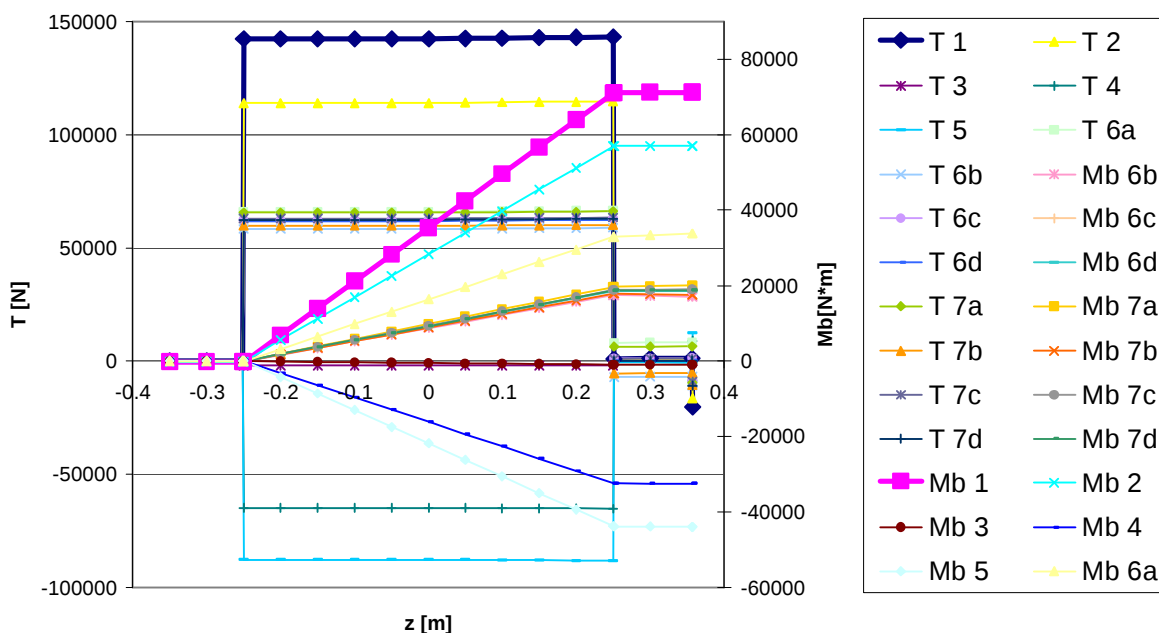
$$R_{pL} + R_{pR} + T_R + R_R = 0$$

Momentová rovnováha uvolněné pravé poloviny křídla k ose symetrie

$$R_{pL} \cdot z_p + M_R - R_{pR} \cdot z_p - R_R \cdot z_{rr} = 0$$

Nyní je již definováno vše potřebné k vyšetření výsledných vnitřních účinků (VVÚ) na krakorci. Průběhy VVÚ na krakorci pravé poloviny křídla pro všechny případy zatížení ukazuje Obrázek 21. Tučně je vyznačen rozhodující případ zatížení.

Zatížení krakorce (početní VVÚ $f = 2.25$)



Obrázek 21: Průběh VVÚ na krakorci pravé poloviny křídla

3.3.2.2 Návrh rozměrů krakorce

Krakorec je navrhován obdobně jako část nosníku zastavěná v křídle. Pásnice jsou dimenzovány pro přenos normálních sil od ohybového momentu a stojina pro přenos smykového zatížení od posouvající síly. Poznamenejme, že posouvající síla mezi spojovacími čepy je cca. 7x větší než v místě před kořenovým žebrem uvnitř křídla. Toto místo je patrně smykově nejvíce zatíženým místem celého draku letounu. Toto nutně povede k mohutné stojině. Dalším problémem návrhu může být příliš velká tuhostní změna stojiny v místě kořenového žebra. Proto je potřeba, aby nebyl nosník uvnitř křídla dimenzován jen těsně nad $RF=1$. V místě kořenového žebra je proto nosík navrhován s $RF=1.2 \div 1.3$.

Výška krakorce zůstává po celé délce konstantní (stejná jako nosníku v místě kořenového žebra)

$$h_1 = 190.6mm$$

$$h_e = 183mm$$

CFK profily jsou z pásnic krakorce vypouštěny podle tabulky:

poloha z [m]	horní pásnice počet CFK profilů	dolní pásnice počet CFK profilů
0.357 ÷ 0.250	2 x 19	2 x 14
0.250 ÷ 0.200	2 x 18	2 x 14
0.200 ÷ 0.150	2 x 17	2 x 14
0.150 ÷ 0.100	2 x 16	2 x 14
0.100 ÷ 0.050	2 x 15	2 x 14
0.050 ÷ 0.000	2 x 14	2 x 14
0.000 ÷ -0.050	2 x 13	2 x 13
-0.050 ÷ -0.100	2 x 12	2 x 12
-0.100 ÷ -0.150	2 x 11	2 x 11
-0.150 ÷ -0.200	2 x 10	2 x 10
-0.200 ÷ -0.250	2 x 9	2 x 9
-0.250 ÷ -0.300	2 x 8	2 x 8
-0.300 ÷ -0.350	2 x 7	2 x 7

Tabulka 9: Průřezy pásnic krakorce

Stojina krakorce je tvořena 9 vrstvami 92110~~✗~~ (díl stojiny průběžný z krakorce dovnitř křídla) a 24 vrstvami 92125~~✗~~. Vrstvy 92125~~✗~~ jsou ovinuty dvanáctkrát okolo celého krakorce včetně pásnic.

3.3.2.3 Pevnostní kontrola krakorce

Krakorec je kontrolován stejně jako nosník zastavěný v křídle. Viz. kapitola 3.3.1.2. Výstup této kontroly je uveden v Příloze 3 společně s určením VVÚ pro daný případ zatížení. Kontrola byla provedena pro všechny případy zatížení. Z kontroly vyplývá, že kritický případ zatížení je Příklad 1. Kritické řezy jsou 2:

- pásnice v místě kořenového žebra
 - o horní pásnice $z=0.357\text{m}$, $\sigma=-1066.4\text{ MPa}$, $RF=1.22$
 - o dolní pásnice $z=0.357\text{m}$, $\sigma=1447.3\text{ MPa}$, $RF=1.24$
- stojina v místě zavedení síly do pouzdra pravého spojovacího čepu
 - o $z=0.250\text{m}$, $\tau=79.8\text{ MPa}$, $RF=1.13$

Pevnostní zkouškou se bude prokazovat únosnost konstrukce při Příkladu 1.

3.3.2.4 Návrh a kontrola uložení spojovacích čepů polovin křídla

Provedení obou čepů je shodné. Stojina krakorce je v místě čepu vyztužena masivní kompozitovou rozpěrkou. Rozpěrka vyplňuje v místě čepu celý prostor boxu krakorce. Čepy se zasouvají do bronzových pouzder, které jsou vlepeny do kompozitové rozpěrky a stojiny. Stěny vlastního otvoru v krakorci jsou tedy namáhány na otlačení od vlepeného bronzového pouzdra o určitém průměru.

Zatížení čepů bylo stanoveno v kapitole 0. Rozhodujícím případem, kdy je uložení zatíženo největší silou, je Příklad 1.

Maximální síla působící na čep

$$R_p = 142344\text{ N}$$

Dovolené napětí v otlačení pro 92125~~✗~~ na otvor díry od vlepeného pouzdra je dle [3]

$$s_p = 100\text{ MPa}$$

Minimální otlačovaná plocha

$$A = \frac{R_p}{s_p} = \frac{142344}{100} = 1424 \text{ mm}^2$$

Vnější průměr pouzdra

$$D = 50 \text{ mm}$$

Potřebná tloušťka otláčovaného materiálu

$$t_n = \frac{A_{otl}}{D} = 28.5 \text{ mm}$$

Tloušťka krakorce v místě vnějšího čepu je 33.2mm, v místě vnitřního čepu je tloušťka 66mm. Uložení pouzder vyhovuje požadavkům na minimální otláčovanou plochu.

Vnější průměr pouzdra by bylo možné zmenšit použitím trnů po obvodu pouzdra které budou zvětšovat styčnou plochu. Únosnost spojení je nutné ověřit pevnostní zkouškou.

3.3.3 Potahy torzních dutin

3.3.3.1 Stanovení středu smyku torzních dutin

Aby bylo možné přesněji stanovit krutové zatížení křídla, je potřeba vyšetřit polohy středů smyku torzních dutin, a stanovit tak osu, okolo které se budou jednotlivé řezy křídla při kroucení natáčet. Ke stanovení středu smyku je zapotřebí znát geometrii dutin v každém řezu a tuhosti potahových panelů ve smyku. Geometrické parametry dutin byly odečteny dříve. Poznamenejme ještě, že se dopouštíme mírné nepřesnosti tím, že geometrické parametry dutin vychází z vnějšího povrchu. Přesnější by bylo stanovit střední plochu potahového sendviče a odečítat parametry od ní.

K výpočtu středu smyku je zapotřebí znát kromě geometrických parametrů také materiálové parametry (modul tuhosti ve smyku). Tento požadavek nemusí být splněn, pokud je použit jeden materiál (včetně stojin). Toto zde není splněno, a proto musí následovat první návrh skladby potahů a stojin. Tabulka 10 a Tabulka 11 již uvádí skladbu splňující pevnostní požadavky. Skladba potahu je uváděna v pořadí z vnějšího povrchu křídla.

Skladba potahu torzních dutin po rozpětí	
z [m]	skladba
0.357 ÷ 0.539	92110✂, 92110✂, PARAGLASS.⬇, 98340⬇
0.539 ÷ 4.014	92110✂, 92110✂, PARAGLASS.⬇
4.014 ÷ 8.500	92110✂, PARAGLASS.⬇

Tabulka 10: Skladba potahu torzních dutin po rozpětí křídla

Skladba uzavírací stojiny zadní torzní dutiny	
z [m]	skladba
0.357 ÷ 1.210	2 x 92110✂, HEREX 6mm, 92110✂
1.210 ÷ 8.500	92110✂, HEREX 6mm, 92110✂

Tabulka 11: Skladba uzavírací stojiny zadní torzní dutiny

Vzhledem k tomu, že potah tvoří několik různých materiálů (minimálně dva), byla přepočtena tloušťka potahu na ekvivalentní tloušťku, kterou by měla vrstva o stejné smykové tuhosti s referenčním smykovým modulem.

Vzhledem k převaze vrstev skleněných byl zvolen referenční smykový modul 7700 MPa (odpovídá smykovému modulu vrstvy 92110✂).

$$G_{ref} = 7700 \text{ MPa}$$

Ekvivalentní tloušťka potahového sendviče pro přenos smykového zatížení je

$$t_{ekv} = \sum_i t_{iekv} = \sum_i \frac{t_i \cdot G_i}{G_{ref}}$$

$$t_1 = t_2 = t_3 = t_{ekv}$$

Nyní jsou již definovány všechny parametry vstupující do výpočtu středu smyku torzních dutin, který provedeme dle [2] Tab. 1.14.

$$T \cdot a = 2 \cdot U_1 \cdot q_1 + U_2 \cdot q_2 \quad (1)$$

$$\frac{1}{2U_1} \cdot \oint_1 \frac{q_v \cdot ds}{G \cdot t} = 0 \rightarrow \frac{q_1 \cdot s_1}{G \cdot t_1} + \frac{(q_1 + q_{z1} - q_2) \cdot h_1}{G \cdot t_{h1}} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{1}{2U_2} \cdot \oint_2 \frac{q_v \cdot ds}{G \cdot t} = 0 \rightarrow \frac{q_2 \cdot s_2}{G \cdot t_2} + \frac{q_2 \cdot s_3}{G \cdot t_3} + \frac{(q_2 + q_{z2}) \cdot h_2}{G \cdot t_{h2}} + \frac{(q_2 - q_1 - q_{z1}) \cdot h_1}{G \cdot t_{h1}} = 0 \quad (3)$$

Rovnice (1) vyjadřuje rovnováhu kroutícího momentu od posouvající síly a smykových toků v potazích dutin. Rovnice (2) a (3) vyjadřují nulový zkrut první resp. druhé dutiny. Význam jednotlivých symbolů v rovnicích (1) až (3) vysvětluje Obrázek 15 na straně 28 nahoře.

Poloha středu smyku je dána řešením soustavy rovnic pro neznámé a , q_1 , q_2 .

Posouvající síla se rozděluje mezi nosníky v poměru jejich ohybových tuhostí. V našem případě je nosník jen jeden a tedy veškerou posouvající sílu přenáší sám.

Smykové toky v stojinách nosníků od přerozdělené posouvající síly

$$q_{z1} = \frac{T}{h_1}$$

$$q_{z2} = 0$$

Za předpokladu, že jsou potahy dutin a stojiny v jednom řezu ze stejného materiálu (zajištěno přepočtem ekvivalentní tloušťky k referenčnímu smyk. modulu), bylo v programu MathCad nalezeno obecné řešení této soustavy ve tvaru:

Given

$$T \cdot a = 2 \cdot U_1 \cdot q_1 + 2 \cdot U_2 \cdot q_2$$

$$\frac{1}{2 \cdot U_1} \left[\frac{q_1 \cdot s_1}{G \cdot t_1} + \frac{(q_1 + q_{z1} - q_2) \cdot h_1}{G \cdot t_{h1}} \right] = 0$$

$$\frac{1}{2 \cdot U_2} \left[\frac{q_2 \cdot s_2}{G \cdot t_2} + \frac{q_2 \cdot s_3}{G \cdot t_3} + \frac{(q_2 + q_{z2}) \cdot h_2}{G \cdot t_{h2}} + \frac{(q_2 - q_1 - q_{z1}) \cdot h_1}{G \cdot t_{h1}} \right] = 0$$

$$q_{z2} := 0$$

$$\text{Find}(a, q_1, q_2) \rightarrow \left(\frac{2 \cdot U_1 \cdot h_1 \cdot h_2 \cdot q_{z1} \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 + 2 \cdot U_1 \cdot h_1 \cdot q_{z1} \cdot s_2 \cdot t_1 \cdot t_3 \cdot t_{h2} + 2 \cdot U_1 \cdot h_1 \cdot q_{z1} \cdot s_3 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_{h2} - 2 \cdot U_2 \cdot h_1 \cdot q_{z1} \cdot s_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot t_{h2}}{T \cdot h_1 \cdot h_2 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 + T \cdot h_1 \cdot s_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot t_{h2} + T \cdot h_1 \cdot s_2 \cdot t_1 \cdot t_3 \cdot t_{h2} + T \cdot h_1 \cdot s_3 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_{h2} + T \cdot h_2 \cdot s_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot t_{h1} + T \cdot s_1 \cdot s_2 \cdot t_3 \cdot t_{h1} \cdot t_{h2} + T \cdot s_1 \cdot s_3 \cdot t_2 \cdot t_{h1} \cdot t_{h2}} \right)$$

$$\frac{h_1 \cdot h_2 \cdot q_{z1} \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 + h_1 \cdot q_{z1} \cdot s_2 \cdot t_1 \cdot t_3 \cdot t_{h2} + h_1 \cdot q_{z1} \cdot s_3 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_{h2}}{h_1 \cdot h_2 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 + h_1 \cdot s_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot t_{h2} + h_1 \cdot s_2 \cdot t_1 \cdot t_3 \cdot t_{h2} + h_1 \cdot s_3 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_{h2} + h_2 \cdot s_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot t_{h1} + s_1 \cdot s_2 \cdot t_3 \cdot t_{h1} \cdot t_{h2} + s_1 \cdot s_3 \cdot t_2 \cdot t_{h1} \cdot t_{h2}}$$

$$\frac{h_1 \cdot q_{z1} \cdot s_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot t_{h2}}{h_1 \cdot h_2 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 + h_1 \cdot s_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot t_{h2} + h_1 \cdot s_2 \cdot t_1 \cdot t_3 \cdot t_{h2} + h_1 \cdot s_3 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_{h2} + h_2 \cdot s_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot t_{h1} + s_1 \cdot s_2 \cdot t_3 \cdot t_{h1} \cdot t_{h2} + s_1 \cdot s_3 \cdot t_2 \cdot t_{h1} \cdot t_{h2}}$$

kde a je vzdálenost středu smyku od ohybově elastické osy nosníkové konstrukce (tedy v našem případě od nosníku). Kladná hodnota znamená orientaci posunutí od nosníku směrem k odtokové hraně.

Výše uvedeným výpočtem byly stanoveny polohy smykových středů pro všechny výpočtové řezy v rozmezí od kořenového žebra po konec křídla.

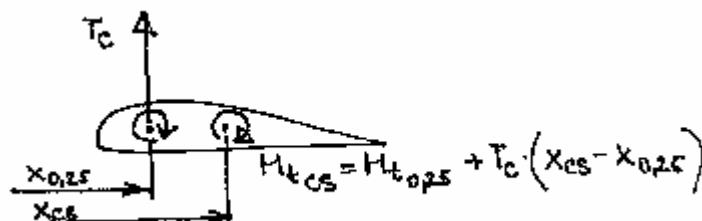
3.3.3.2 Krouťící moment k středu smyku

Skutečný krouťící moment působící na křídlo je dán superpozicí účinků aerodynamického klopivého momentu a posouvajících sil působících na příslušných ramenech k středu smyku. Výpočet zatížení křídla byl proveden k aerodynamické ose (k spojnici čtvrtinových bodů).

Krouťící moment k středu smyku stanovíme

$$M_{tCS}(z) = M_{t0.25}(z) + T_c(z) \cdot [x_{CS}(z) - x_{0.25}(z)]$$

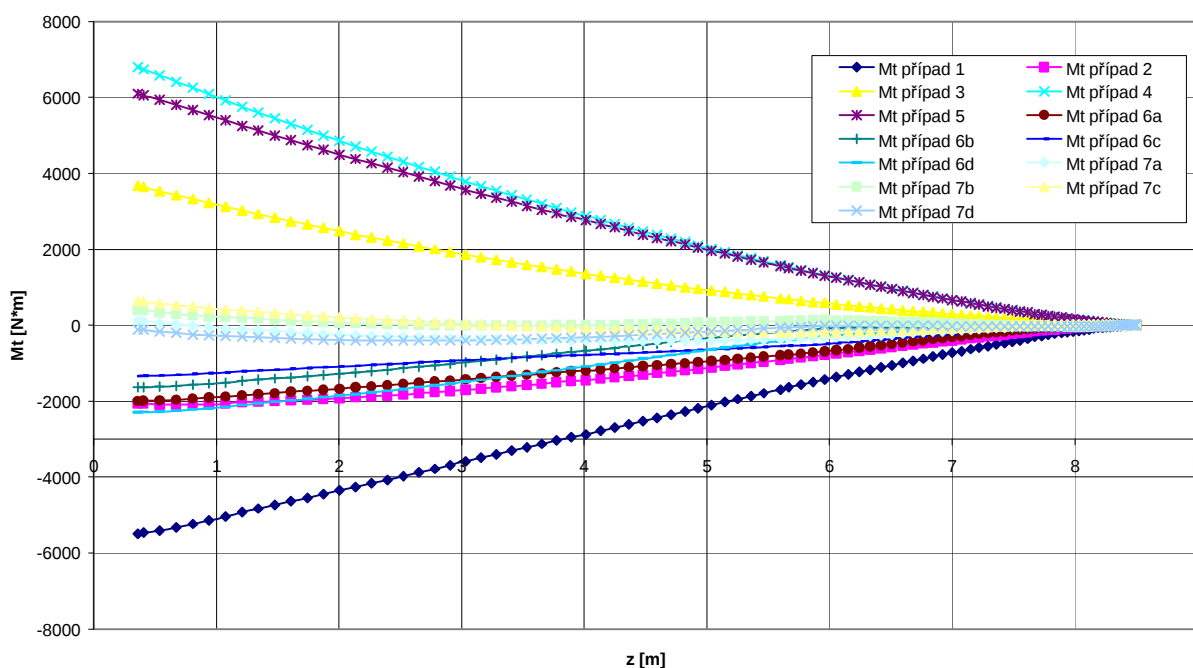
Situaci k přepočtu ukazuje Obrázek 22.



Obrázek 22: Krouťící moment k středu smyku

Výsledek přepočtu krouťícího momentu k středu smyku torzních dutin uvádí příloha 1. Průběhy po rozpětí ukazuje Obrázek 23.

Krouťící moment k středu smyku po rozpětí (početní zatížení $f = 2.25$)



Obrázek 23: Průběh krouťícího momentu po rozpětí

3.3.3.3 Rozhodující případy zatížení pro dimenzování potahů torzních dutin

Potahy jsou dimenzovány pro přenos krouťícího momentu. Rozhodující bude jeden z následujících případů:

- Příklad 1 – nejvyšší záporná hodnota M_t
- Příklad 4 – nejvyšší kladná hodnota M_t
- Příklad 5 – nejvyšší kladná hodnota M_t

Potahy jsou výpočetně kontrolovány pro všechny tři případy zatížení (1, 4, 5). V každém výpočetním řezu a pro každý z těchto tří případů zatížení je stanoven faktor rezervy k návrhovým materiálovým hodnotám (RF). Následně bude vybrán řez s nejnižším RF, tento řez je kritický. Příklad při kterém je RF nejnižší, je kritickým případem. Pro takto stanovený kritický případ bude provedena pevnostní zkouška.

3.3.3.4 Smykové zatížení potahů torzních dutin a stojiny nosníku

Přenos krouticího momentu pro daný případ zatížení je vyšetřován řešením soustavy rovnic:

$$M_t = 2 \cdot U_1 \cdot q_1 + U_2 \cdot q_2$$

$$\frac{1}{2U_1} \cdot \oint_1 \frac{q_v \cdot ds}{G \cdot t} = \frac{1}{2U_2} \cdot \oint_2 \frac{q_v \cdot ds}{G \cdot t}$$

Druhou rovnici, jež vyjadřuje rovnost zkrutu konstrukce v důsledku její spojitosti, lze přepsat do tvaru

$$\frac{1}{2U_1} \cdot \left(\frac{q_1 \cdot s_1}{G \cdot t_1} + \frac{(q_1 - q_2) \cdot h_1}{G \cdot t_{h1}} \right) = \frac{1}{2U_2} \cdot \left(\frac{q_2 \cdot s_2}{G \cdot t_2} + \frac{q_2 \cdot s_3}{G \cdot t_3} + \frac{q_2 \cdot h_2}{G \cdot t_{h2}} + \frac{(q_2 - q_1) \cdot h_1}{G \cdot t_{h1}} \right)$$

Význam jednotlivých symbolů v rovnicích výše je shodný jako v kapitole 3.3.3.1 a vysvětluje ho Obrázek 15 na straně 28 nahoře.

Pro tuto soustavu dvou rovnic bylo nalezeno pomocí programu MathCad obecné řešení ve tvaru:

Given

$$M_t = 2 \cdot U_1 \cdot q_1 + U_2 \cdot q_2$$

$$\frac{1}{2U_1} \cdot \left[\frac{q_1 \cdot s_1}{G \cdot t_1} + \frac{(q_1 - q_2) \cdot h_1}{G \cdot t_{h1}} \right] = \frac{1}{2U_2} \cdot \left[\frac{q_2 \cdot s_2}{G \cdot t_2} + \frac{q_2 \cdot s_3}{G \cdot t_3} + \frac{(q_2 - q_1) \cdot h_1}{G \cdot t_{h1}} + \frac{q_2 \cdot h_2}{G \cdot t_{h2}} \right]$$

$$\text{Find}(q_1, q_2) \rightarrow \left[\frac{2 \cdot U_1 \cdot s_1 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot h_1 \cdot h_2 + 1 \cdot U_2 \cdot h_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot h_1 + 2 \cdot U_1 \cdot s_2 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot h_1 + 1 \cdot U_2 \cdot s_2 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot h_1 + 2 \cdot U_1 \cdot s_3 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot h_1 + 2 \cdot U_1 \cdot s_1 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot h_1 + 2 \cdot U_1 \cdot s_2 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot h_1 + 2 \cdot U_1 \cdot s_3 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot h_1 + 4 \cdot U_1 \cdot U_2 \cdot s_1 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot h_1}{2 \cdot U_1 \cdot s_1 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot h_1 + 2 \cdot U_1 \cdot s_2 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot h_1 + 2 \cdot U_1 \cdot s_3 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot h_1 + 2 \cdot U_1 \cdot s_2 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot h_1 + 2 \cdot U_1 \cdot s_3 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot h_1 + 2 \cdot U_1 \cdot s_1 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot h_1 + 2 \cdot U_1 \cdot s_2 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot h_1 + 2 \cdot U_1 \cdot s_3 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot h_1 + 4 \cdot U_1 \cdot U_2 \cdot s_1 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot h_1} \right]$$

Zjištěné smykové toky q_1 a q_2 se rozdělují mezi jednotlivé vrstvy laminátu v poměru smykových tuhostí vrstev. Smyková tuhost vrstvy odpovídá ekvivalentní tloušťce vrstvy. První index u smykového toku označuje dutinu (1 – přední, 2 - zadní), druhý index označuje pořadí vrstvy v laminátu směrem z vnějšího povrchu dovnitř konstrukce.

$$q_{1i} = q_1 \cdot \frac{t_{iekv}}{t_{ekv}}, \quad q_{2i} = q_2 \cdot \frac{t_{iekv}}{t_{ekv}}$$

Smykové napětí v i -té vrstvě pak spočteme

$$t_{1i} = \frac{q_{1i}}{t_i}, \quad t_{2i} = \frac{q_{2i}}{t_i}$$

Faktor rezervy k návrhovým hodnotám smykového napětí

$$RF_{1i} = \frac{t_{p1}}{t_{1i}}, \quad RF_{2i} = \frac{t_{p2}}{t_{2i}}$$

Výpočet je uveden v příloze 4.

3.3.3.5 Rozhodující případ zatížení a kritický řez

Kritickým případem je Příklad 1.

Kritickým řezem je řez s polohou $z=4.014\text{m}$, kde je ukončena zesilující vrstva 92110~~4~~. Svrchní

vrstva 92110 $\times$ na zadní dutině má v tomto řezu $RF_{21} = 1.01$. To odpovídá smykovému napětí

$$t_{21} = -89.3 \text{ MPa}$$

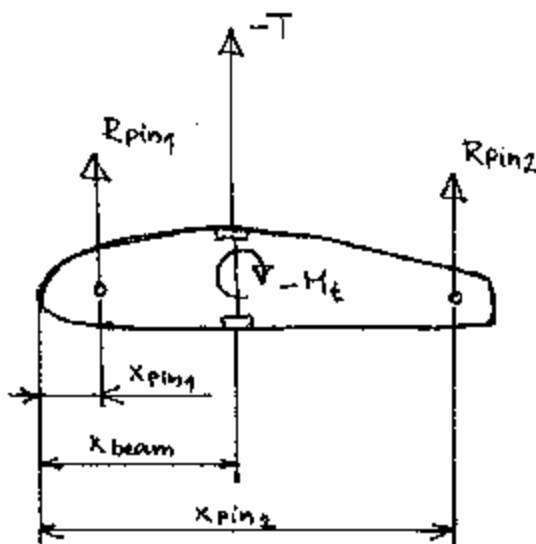
3.3.4 Kořenové žebro

3.3.4.1 Zatížení kořenového žebra

Kořenové žebro odvádí posouvající sílu a kroutící moment z křídla do centroplánu trupu pomocí dvojice čepů. Samotné žebro je pak zatěžováno jako nosník uložený na dvou podporách zatížený posouvající silou působící v místě nosníku křídla a smykovým tokem z torzních dutin.

Pro zjednodušení a zpřehlednění výpočtu byla zavedena lokální souřadnicová soustava s počátkem v náběžné hraně profilu na kořenovém žebře. Osa x necht' směřuje směrem k odtokové hraně profilu a osa y směrem nahoru. Nyní lze snadněji definovat polohy čepů a rozměry žebra.

Křídlo bylo uvolněno od centroplánu trupu a byly zavedeny reakční síly do čepů viz. Obrázek 24.



Obrázek 24: Přenos kroutícího momentu a posouvající síly dvojicí čepů

Poloha předního a zadního čepu

$$x_{pin1} = 0.1 \text{ m}$$

$$x_{pin2} = 0.6 \text{ m}$$

Poloha nosníku

$$x_{beam} = 0.338 \text{ m}$$

Síly na čepy

$$R_{pin1} = -T - R_{pin2}$$

$$R_{pin2} = \frac{M_t + T \cdot (x_{pin1} - x_{beam})}{x_{pin2} - x_{pin1}}$$

3.3.4.2VVÚ na žebro

Výsledné vnitřní účinky na kořenovém žebro jsou dány superpozicí účinků od osamělých sil a od smykových toků v potazích torzních dutin.

3.3.4.2.1 Odečet geometrických parametrů žebra

x	H	dU ₁	U ₁	dU ₂	U ₂
[mm]	[mm]	[cm ²]	[cm ²]	[cm ²]	[cm ²]
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
69	95	41.695	41.695	0.000	0.000
100	117	33.285	74.980	0.000	0.000
137	137	47.686	122.666	0.000	0.000
206	165	104.653	227.319	0.000	0.000
275	183	120.125	347.444	0.000	0.000
338	191	118.797	466.241	0.000	0.000
412	187	0.000	466.241	140.851	140.851
481	171	0.000	466.241	123.421	264.272
550	147	0.000	466.241	109.496	373.768
600	129	0.000	466.241	69.599	443.367
618	121	0.000	466.241	22.860	466.227
687	94	0.000	466.241	73.910	540.137
687	94	0.000	466.241	0.000	540.137

Tabulka 12: Geometrické parametry kořenového žebra

3.3.4.2.2 VVÚ od osamělých sil

Průběh posouvající síly

$$dT_{rib,f}(x) = \begin{cases} x = x_{pin1} \rightarrow -R_{pin1} \\ x = x_{beam} \rightarrow -(-T) \\ x = x_{pin2} \rightarrow -R_{pin2} \end{cases}$$

$$T_{rib,f}(x) = \int_0^{0.687} dT_{rib}(x)$$

Průběh ohybového momentu

$$M_{brib,f}(x) = \int_0^x T_{rib,f}(x) \cdot dx$$

3.3.4.2.3 VVÚ od smykových toků v potazích torzních dutin

Průběh posouvající síly

$$T_{rib,sf}(x) = \begin{cases} x = 0 \dots x_{beam} \rightarrow -q_1 \cdot H_{rib}(x) \\ x = x_{beam} \dots 0.687 \rightarrow -q_2 \cdot H_{rib}(x) \end{cases}$$

Průběh ohybového momentu

$$M_{brib,sf}(x) = \begin{cases} x = 0 \dots x_{beam} \rightarrow -q_1 \cdot 2 \cdot U_1(x) \\ x = x_{beam} \dots 0.687 \rightarrow -q_1 \cdot 2 \cdot U_1(x) - q_2 \cdot 2 \cdot U_2(x) \end{cases}$$

3.3.4.2.4 Superponované VVÚ

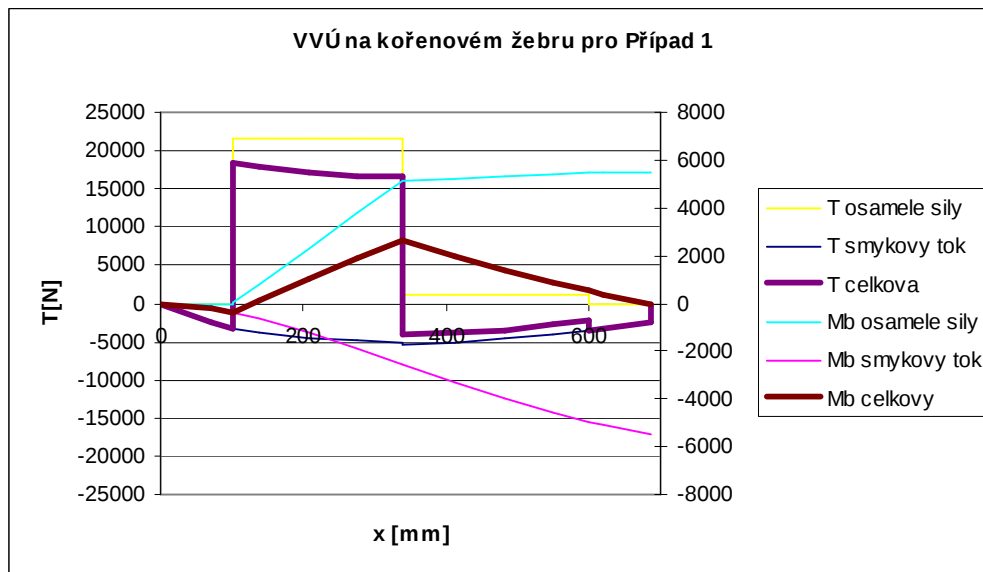
Posouvající síla

$$T_{rib}(x) = T_{rib,f}(x) + T_{rib,sf}(x)$$

Ohybový moment

$$M_{rib}(x) = M_{rib,f}(x) + M_{rib,sf}(x)$$

Průběhy pro Případ 1 ukazuje Obrázek 25. Průběhy pro všechny prověřované případy jsou uvedeny v Příloze 5 společně s pevnostní kontrolou žebra.



Obrázek 25: Superpozice VVÚ od osameklých sil a od smykových toků v potazích torzních dutin na kořenovém žebře

3.3.4.3 Návrh kořenového žebra

Kořenové žebro je navrhováno jako nosník s tenkou stojinou. V průřezu má žebro tvar písmene „C“. Pásnice žebra tvoří potahy torzních dutin (v místě kořenového žebra jsou potahy tvořeny z 2 x 92110₁, Paraglass3, 3 x 98340₁). Stojina žebra je sendvičové konstrukce s potahy z 6 x 92125₁ a jádrem z 6mm pěnového materiálu. V místech čepů je žebro vybaveno rozpěrkou a pěnové jádro sendviče je nahrazeno překližkovou vložkou. Čep je důkladně zalaminován.

3.3.4.4 Pevnostní kontrola

Stojina žebra přenáší smykem posouvající sílu stanovenou v kapitole 3.3.4.2.4.

Smykový tok ve stojině žebra

$$q_{web} = \frac{T_{rib}}{H_{rib}} \quad \left[\frac{N}{mm} \right]$$

Smykové napětí ve vrstvách 92125₁ na stojině

$$t_{web} = \frac{q_{web}}{t_{web}} = \frac{q_{web}}{6 \cdot t_{92125}} \quad [MPa]$$

Faktor bezpečnosti k návrhovým hodnotám na stojině

$$RF_{web} = \frac{t_p}{t_{web}} \quad [1]$$

Pásnice žebra je namáhána ohybovým momentem stanoveným v kapitole 3.3.4.2.4, ale zároveň také smykem v torzní dutině stanoveným v 3.3.3.4.

Normální síly v pásnicích žebra

$$N_{frib} = \pm \frac{M_{rib}}{H_{rib}} \quad [N]$$

Jednotlivé vrstvy pásnice přenášejí normální zatížení v poměru svých tuhostí viz. Tabulka 13

i	vrstva	E [MPa]	t [mm]	t*E	podíl přenosu tahu/tlaku (stiffness ratio - SR)
1	2 x 92110 W	10700	0.36	3852	0.06
2	Paraglassš	2600	3	7800	0.13
3	3 x 98340 W	77000	0.63	48510	0.81

Tabulka 13: Podíl jednotlivých vrstev pásnice žebra na přenosu normálních sil

Normální napětí v jednotlivých vrstvách pásnic

$$s_{ifrib} = \frac{N_{frib} \cdot SR_i}{t_i \cdot w_f} \quad [N],$$

kde $w_f = 50mm$ je účinná šířka pásnice

Faktor bezpečnosti k návrhovým hodnotám pro i-tou vrstvu pro kombinované namáhání tahem/tlakem a smykem stanovíme ve tvaru kvadratického poruchového kritéria (poruchová elipsa):

$$RF_i = \frac{1}{\left[\left(\frac{s_{ifrib}}{s_{ip}} \right)^2 + \left(\frac{t_{ifrib}}{t_{ip}} \right)^2 \right]} \quad [1],$$

kde t_{ifrib} je smykové napětí v i-té vrstvě vypočtené pro kořenový řez ($z=0.357m$)

v kapitole 3.3.3.4. t_{ifrib} je rozdílné pro přední a zadní dutinu.

3.3.4.5 Rozhodující případy zatížení

Žebro bude kontrolováno pro tři následující případy zatížení:

- Příklad 1 (nejvyšší záporný kroutící moment M_t , nejvyšší záporná posouvající síla T)
- Příklad 4 (nejvyšší kladný kroutící moment M_t)
- Příklad 5 (nejvyšší kladná posouvající síla T)

Výsledky pevnostní kontroly jsou uvedeny v Příloze 5. Z kontroly vyplývá, že kritickým případem je Příklad 1. Žebro má dvě kritická místa:

- Uchycení prvního čepu ($x=0.1m$), $t_{web} = 81.1 MPa$, $RF_{web}=1.11$
- Napojení žebra na nosník křídla ($x=0.338m$), ve vrstvě 98340~~W~~, $s_{3f} = 362.1 MPa$, $t_{3f} = 14.8 MPa$, $RF_{3f}=1.3$

3.3.4.6 Uložení čepů v kořenovém žebře

Kroutící moment a posouvající síla jsou přenášeny dvojicí čepů vlepených a olaminovaných v kořenovém žebře křídla. Do kořenového žebra centroplánu trupu jsou zalaminována pouzdra. Přední pouzdro navazuje na rozpěrnou tyč, která je průběžná přes celý centroplán a chrání tak posádku před průnikem křídla do trupu při havarijním zatížení. Žebra jsou v místech čepů zesílena rozpěrkami a pěnové jádro sendviče je nahrazeno překližkovou vložkou.

Čep má v části vlepené uvnitř žebra průměr 25 mm a jsou do něj po obvodu vyvrtané otvory, do kterých jsou zasunuty kolíky o průměru 1.5mm vyčnívající 5mm nad válcovou plochu, které zvětšují styčnou plochu a umožňují tak dokonalé propojení čepu a laminátu.

Čep je zalaminován do konstrukce již při výrobě žebra. Nejprve se do formy žebra kladou vnější vrstvy 3 x 92110~~W~~, které mají předstřížený otvor o průměru 10mm pro protažení čepu. Poté se do formy vloží pěnové jádro sendviče a překližková vložka v místě čepu s předvrtaným otvorem průměru 25mm. Poté se kladou vnitřní vrstvy 3 x 92125~~W~~, které mají předstřížený otvor o

průměru 25mm. Poté se do formy zasune čep opatřený kolíky. Čep je ve formě středěný středícím otvorem o průměru 10mm. Poté se vloží do formy dvě části čepem rozdělené překližkové rozpěrky. Rozpěrka se nyní společně s čepem řádně přilaminuje k vnitřní straně žebra mnoha vrstvami 92125~~4~~.

Pevnostní kontrola uložení výše popsaného typu je vzhledem k složitosti ložení jednotlivých vrstev prakticky nemožná i při použití MKP. Proto bude únosnost tohoto uložení ověřena statickou zkouškou. Maximální síla bude působit na čep ve vertikálním směru o bude mít velikost 22 kN.



Obrázek 26: Čep v kořenovém žebře vybavený kolíky pro bezpečné uchycení do laminátu

4 Statické podklady pro konstrukci podvozku

Zatížení podvozku zde bude stanoveno podle požadavků předpisu ULK.

4.1 Tuhostní charakteristika podvozku

Hlavní podvozkové kolo je odpružené tlumičem z gumových kroužků. Na převzetí kinetické energie přistávacího rázu se podílí zároveň tlumič a pneumatika kola. Maximální stlačení podvozku je navrženo na 100 mm. Větší stlačení již není bezpečné kvůli nebezpečí poškození uzavíracích dvířek podvozkové šachty.

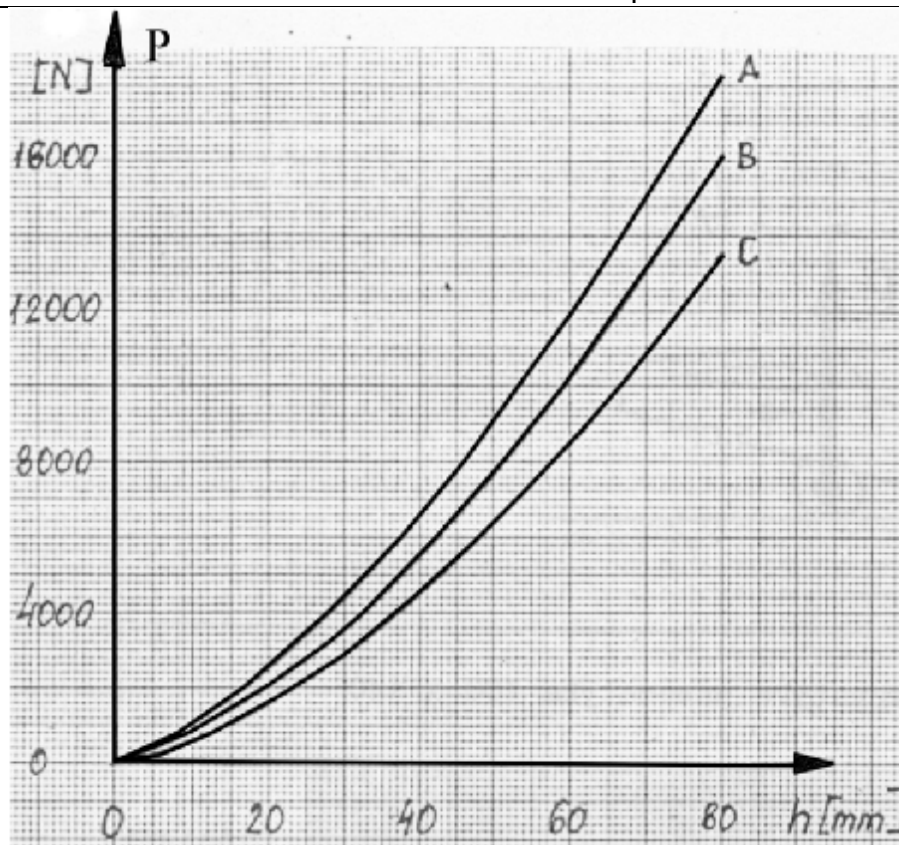
Tuhost pneumatiky závisí zejména na jejím typu a huštění. Tuhost tlumiče je dána použitým materiálem tlumících elementů, jejich rozměry a seskládáním na tlumiči. Určit závislost stlačení pneumatiky (nebo tlumiče) na zátěžné síle je možné jen experimentálně, což je nad rámec této diplomové práce.

Pro účely prvotního výpočtu zatížení byla převzata z [6] charakteristika pneumatiky viz. Obrázek 27.

Pneumatika definovaná v [1] je užší, ale má stejný vnější průměr jako ta, pro niž máme zjištěné charakteristiky. Budeme předpokládat, že pneumatika 350 x 120 mm [1] má stejnou charakteristiku jako 350 x 135 mm uvedená v [6] (viz. Obrázek 27, závislost B).

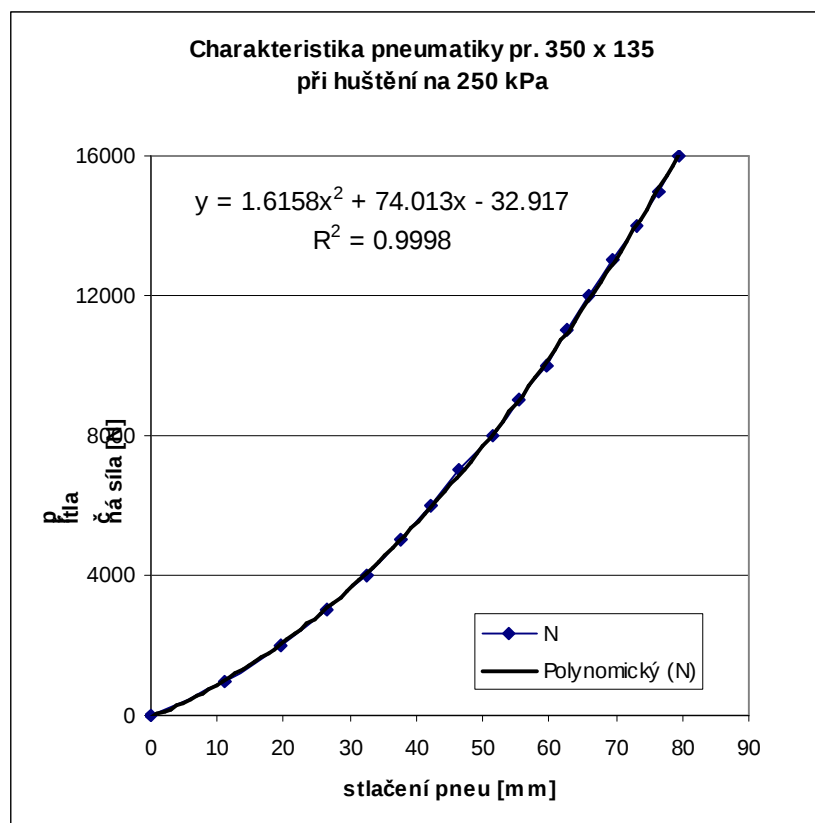
Pozn.:

Obecně nelze říct, že charakteristika pneumatiky závisí pouze na jejích vnějších rozměrech a huštění. Závisí rovněž na použitém materiálu a formě vnitřní výztuže. Proto je nutné při podrobnější analýze vždy provést měření použité pneumatiky.



Obrázek 27: Charakteristika pneumatiky 350 x 135, A – 300kPa, B – 250kPa, C - 200kPa [6]

Uvedená charakteristika (závislost B) byla vyjádřena analyticky parabolickou závislostí:



Je-li předpokládáno maximální stlačení pneumatiky dle přiloženého grafu 80 mm, pak alespoň 20mm připadne na stlačení tlumiče. Vzhledem k tomu, že stlačení pneumatiky o 80 mm je

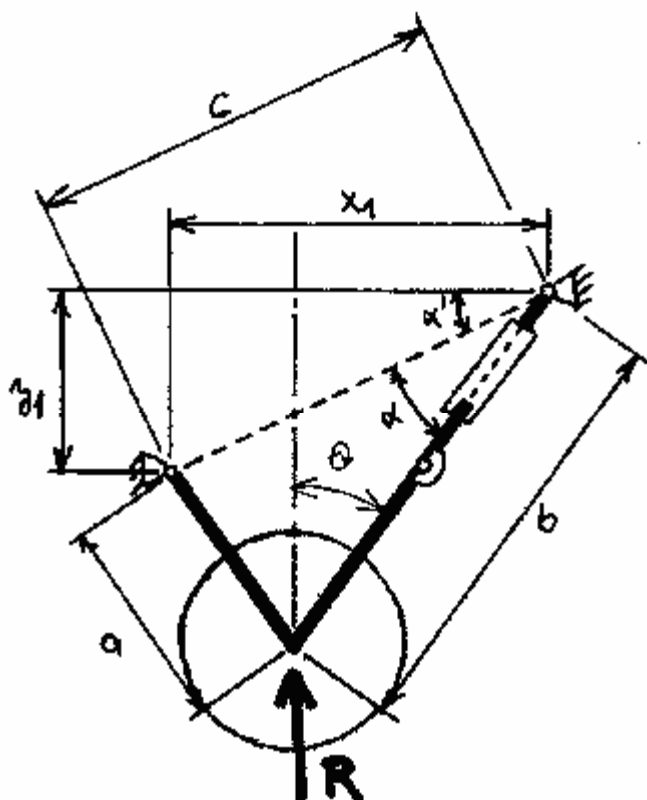
mezní hodnota, není vhodné navrhovat podvozek tak, aby v běžném provozu mohlo dojít k jejímu dosažení (nebo dokonce překročení). Podvozek bude navržen tak, aby stlačení pneumatiky bylo maximálně 70mm.

Průběh závislosti stlačení tlumiče na přítlačné síle lze považovat za přibližně lineární. Od tlumiče bude požadována taková tuhost $\frac{dP}{dh} \left[\frac{N}{mm} \right]$, aby bylo dosaženo celkové stlačení podvozku 100 mm při převzetí potřebné kinetické energie.

Tuhost tlumiče je možné měnit v širokém rozsahu díky variabilitě vlastností materiálu tlumících elementů a jejich tvarů. Výběr vhodného materiálu tlumících elementů a jejich tvaru je svým rozsahem nad rámec této diplomové práce.

4.2 Postup stanovení tuhostní charakteristiky podvozku (tlumič + pneu)

Kinematické schéma podvozku:



Obrázek 28: kinematické schéma podvozku

Podvozek zatěžujeme svislou zátěžnou silou R_i , velikost síly zvětšujeme postupně po krocích (1000N)

Postupně dopočítáváme:

Stlačení pneumatiky podle známé závislosti

$$h_{pi} = f(R_i) \quad [mm]$$

Délka zlomovací vzpěry po stlačení tlumiče

$$b_i = b_0 - L_{ai} \quad [mm],$$

kde b_0 je délka vzpěry s nestlačeným tlumičem

Úhel naklonění zlamovací vzhledem k poloze kování na podvozkové šachtě (viz. Obrázek 28)

$$a_i = \arccos\left(\frac{a^2 - b_{i-1}^2 - c^2}{-2b_{i-1} \cdot c}\right) \quad [rad] \quad [rad]$$

Úhel sklonu zlamovací vzpěry od svislice

$$q = \frac{p}{2} - (a' + a_i) \quad [rad],$$

$$\text{kde } a' = \arctg\left(\frac{y_1}{x_1}\right) \quad [rad]$$

Síla stlačující tlumič (osová síla ve zlamovací vzpěře)

$$P_{ai} = R_i \cdot \cos(q_i) \quad [N]$$

Stlačení tlumiče

$$L_{ai} = P_{ai} \cdot \frac{dh}{dP} \quad [mm]$$

Vertikální složka posunu osy kola od stlačení tlumiče

$$h_{ai} = L_{ai} \cdot \cos(q_i) \quad [mm]$$

Celkové stlačení podvozku ve vertikálním směru (tlumič + pneu)

$$h_i = h_{pi} + h_{ai} \quad [mm]$$

Přírůstek stlačení

$$dh_i = h_{i-1} - h_i \quad [mm]$$

Přírůstek přejeté energie

$$dE_i = \frac{dh_i}{1000} \cdot \frac{R_i + R_{i-1}}{2} [J]$$

Přejetá energie

$$E_i = \sum_{j=0}^i dE_j \quad [J]$$

Výpočet charakteristiky podvozku je uveden v Příloze 7. Charakteristika je platná pro tuhost tlumiče $\frac{dP}{dh} = 300 \frac{N}{mm}$. Této tuhosti bude dosaženo vhodným výběrem materiálu tlumících elementů a jejich tvarem.

4.3 Stanovení pozemního zatížení

4.3.1 Přistávací podmínky pro hlavní podvozek

Požadavek ULK 725 Vodorovné přistání:

Hodnota kinetické energie se určí z předpokladu, že hmotnost kluzáku odpovídá maximální návrhové hmotnosti s klesací rychlostí 1.5 m/s, přičemž vztlak křídla je shodný s tíhou kluzáku. Za výše uvedeného předpokladu nesmí zrychlení v těžišti kluzáku překročit 4g. [5]

Kinetická energie:

$$A = \frac{1}{2} m V_v^2 \quad [J],$$

kde

m [kg] je maximální návrhová hmotnost letounu

V_v $\left[\frac{m}{s} \right]$ je vertikální složka přistávací rychlosti

Energii přistávacího rázu musí beze zbytku pohltnout přistávací zařízení letounu. Velikost reakční síly působící při přistání na podvozek je dána velikostí energie přistávacího rázu a tuhostní charakteristikou podvozku.

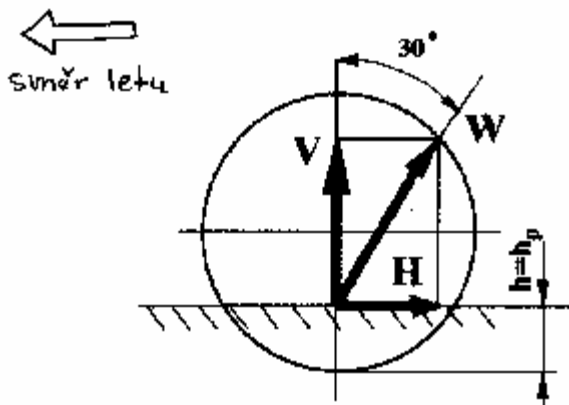
Svislá složka reakce na hlavním podvozku:

$$F_V = R(E = E_K)$$

Vodorovná složka reakce na hlavním podvozku:

$$F_H = F_V \cdot \arctg(30^\circ) \quad [N]$$

Podle ULK 479c se uvažuje kombinace zatížení ve svislém a vodorovném směru (viz. Obrázek 29).

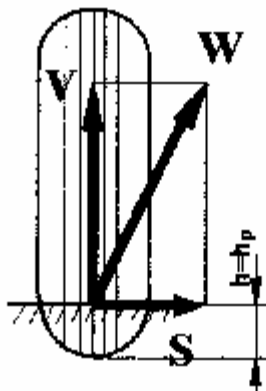


Obrázek 29: Zatížení hlavního podvozku [6]

Boční síla:

$$F_S = 0.3 \cdot R \quad [N]$$

$$F_V = 0.5 \cdot R \quad [N]$$



Obrázek 30: Boční zatížení hlavního podvozku [6]

4.3.2 Přistávací podmínky pro předový podvozek

Svislá složka zatížení předového podvozku:

$$F_V = 0.8 \cdot m \cdot g \quad [N],$$

kde m [kg] je maximální vzletová hmotnost letounu
 g [m/s²] je tíhové zrychlení v 0m MSA

Podle ULK 479d působí na předové kolo společně se svislou složkou zatížení také vodorovná složka směrem dozadu tak, aby výslednice svírala se svislicí úhel 30° (stejně jako v případě hlavního podvozku).

$$F_H = F_V \cdot \arctg(30^\circ) \quad [N]$$

Boční zatížení předového kola – přistání na konec křídla

Předpokládá se, že v místě dotyku křídla se zemí působí rovnoběžně s podélnou osou kluzáku zatížení o velikosti 200N. Zatačivý moment musí být na předovém podvozku uveden do rovnováhy.

Boční síla:

$$F_S = \frac{200 \cdot \frac{l}{2}}{L},$$

kde l [m] je rozpětí křídla

L [m] vzdálenost mezi body dotyku hlavního podvozku s VPD a bodu dotyku předového podvozku s VPD.

4.3.3 Podmínky přistání pro zádový podvozek

Podle ULK 481.

Svislá složka zatížení:

$$F = 4 \cdot m \cdot g \left(\frac{i_z^2}{i_z^2 + L^2} \right),$$

kde m [kg] je maximální vzletová hmotnost letounu
 g [m/s²] je tíhové zrychlení
 i_z [m] je poloměr setrvačnosti letounu okolo osy z
 L [m] je vzdálenost bodu dotyku záďového podvozku s VPD od těžiště kluzáku

Boční síla na záďový podvozek (Podle ULK 501).

Předpokládá se, že v místě dotyku křídla se zemí působí rovnoběžně s podélnou osou kluzáku zatížení o velikosti 200N. Zatačivý moment musí být na záďovém podvozku uveden do rovnováhy.

Boční síla:

$$F_s = \frac{200 \cdot \frac{l}{2}}{L},$$

kde l [m] je rozpětí křídla
 L [m] vzdálenost bodu dotyku záďového podvozku s VPD a bodu dotyku příďového podvozku s VPD

Souhrn uvažovaných případů zatížení podvozku ukazuje Tabulka 14. Výpočet jednotlivých případů je proveden v Příloze 9.

Případ zatížení	Zatížení ve směru		
	Ver.	Hor.	Side
	[N]	[N]	[N]
Vodorovné přistání (ULK 725)	12395	5979	-
Boční zatížení hlavního podvozku (ULK 485)	6198	-	3719
Zatížení příďového podvozku přistání na dva body (ULK 479d)	3704	1787	0
Boční zatížení příďového kola - síla na konec křídla (ULK 501)	-	-	1592
Zatížení záďového podvozku - přistání na ostruhu (ULK 481)	933	-	-
Zatížení záďového podvozku - síla na konec křídla (ULK 501)	-	-	177

Tabulka 14: Případy zatížení podvozku (provozní zatížení dle předpisu ULK)

Kluzák splňuje požadavek předpisu ULK 725 na maximální zrychlení v těžišti při přistání rovno 4g. Násobek při přistání je 3.68g.

5 Konstrukce podvozku

V této práci bude navržena konstrukce předového a hlavního podvozku. Konstrukce záďového podvozku zde nebude řešena neboť záďový podvozek bude použit ve stejném provedení jako na výchozím typu TST-14M.

5.1 Popis konstrukce hlavního podvozku

Jedná se o klasické řešení přístávacího zařízení na kluzácích. Podvozek tvoří dvě dvojice vzpěr které jsou kyvně připevněny k draku kluzáku. Přičemž zadní dvojice vzpěr je zlamovací a umožňuje svým zlomením zatažení podvozku do trupu. Spojovací část obou vzpěr slouží k uložení hřídelky kola.

V horní části zlamovací vzpěry je na hlavním podvozku umístěn tlumič s 6-ti elastomerovými tlumícími elementy. Tlumící elementy jsou nasunuty volně na vodící tyči (rozdíl průměru vodící tyče a otvoru v tlumícím elementu je 5 mm). Soustřednost vodících elementů a tyče zajišťují horní a dolní ocelové podložky s vodícím prstýnkem přivařené dole k vedení vodící tyče a nahoře na samotnou vodící tyč. Soustřednost tlumících elementů umístěných uprostřed tlumiče zajišťují duralové podložky s vodícími prstýnkami na vnějším obvodu vložené mezi každé dva vnitřní elementy. Vodící tyč se při stlačení tlumiče zasouvá do trubky spodní části zlamovací vzpěry. Vedení vodící tyče je zároveň zlamovacím kloubem. K zajištění proti vysunutí vodící tyče z vedení slouží zavařený šroub a samojistná matice M6 se speciální podložkou většího průměru.

Kyvné uložení vzpěr zajišťují ocelové osky uložené v bronzových kluzných pouzdrech nábojů vzpěr a kování, které slouží k zástavbě do draku pomocí šroubů.

Podvozek je připevněn šrouby M8 na stěny šachty z sendvičového kompozitního materiálu. Přes šachtu je zatížení podvozku rozvedeno dále do konstrukce trupu přepážkou sedačky zadního pilota. Podvozek umožňuje zástavbu kola o rozměrech pneumatiky 350 x 120 mm. Předpokládá se brzděné kolo.

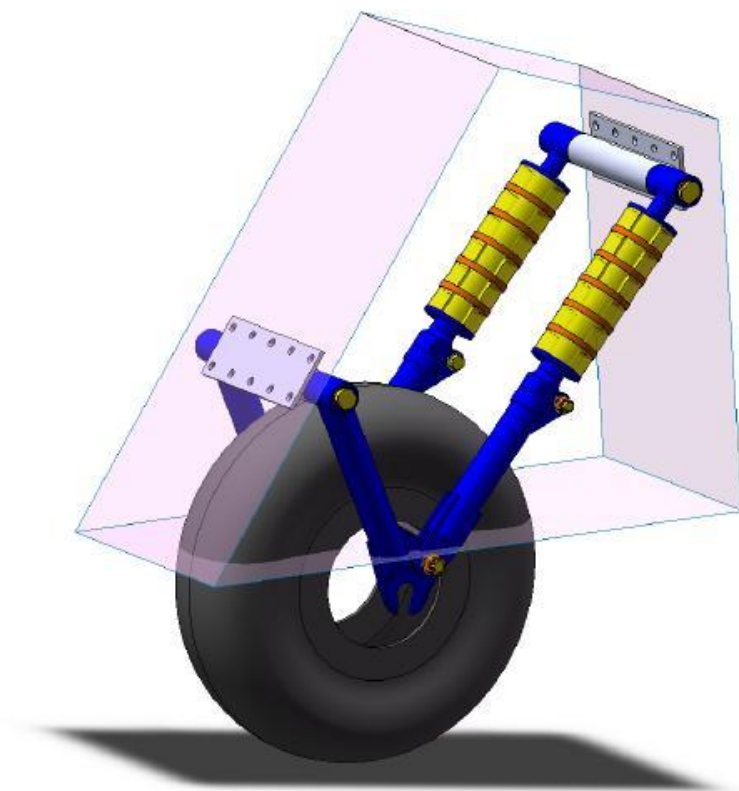
5.2 Popis konstrukce předového podvozku

Provedení předového podvozku je obdobné jako hlavního. Jen je vypuštěna konstrukce tlumiče, která je nahrazena trubkou. Podvozek umožňuje zástavbu kola o rozměrech pneumatiky 250 x 80 mm. Předpokládá se brzděné kolo.

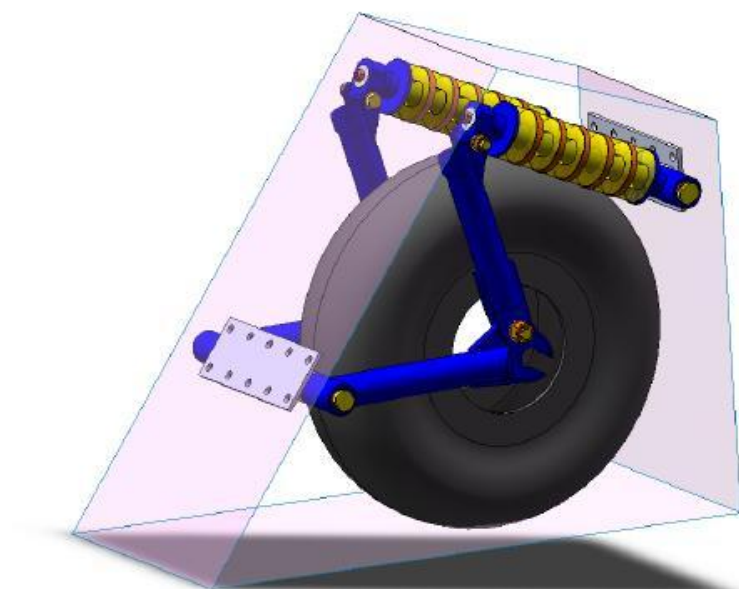
5.3 3D modely podvozků

Oba podvozky byly namodelovány v CAD systému SolidWorks. Modely ve vysunutém a zasunutém stavu jsou vidět na obrázcích níže.

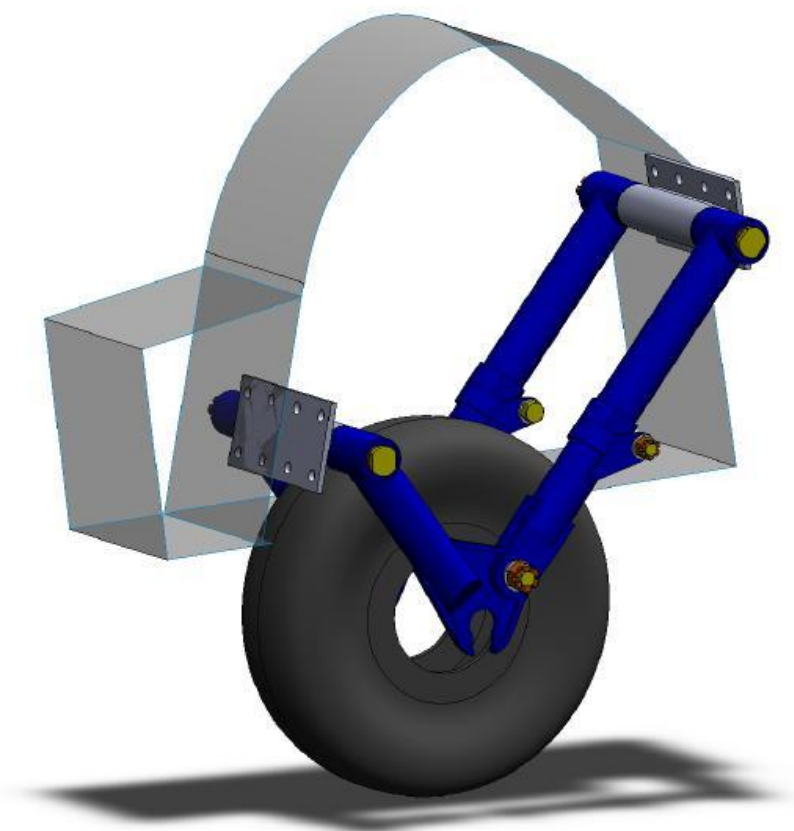
Výkresy sestav hlavního a předového podvozku jsou vedeny jako samostatné přílohy č. 10 a 11.



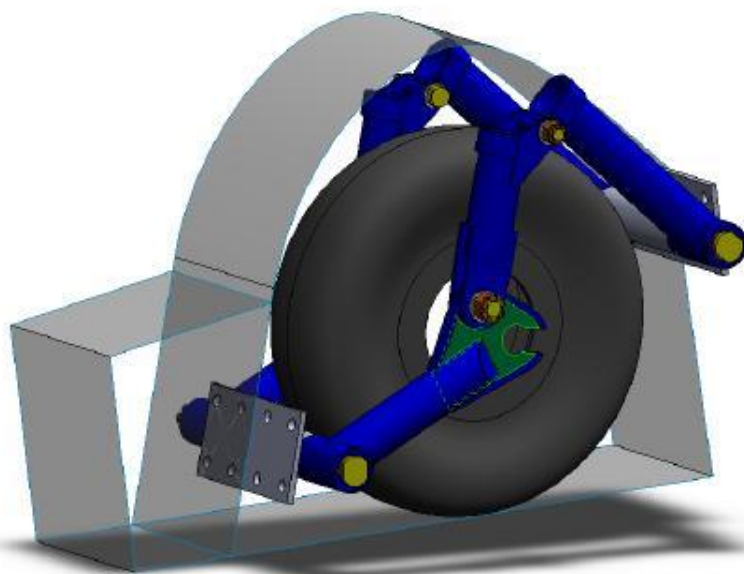
Obrázek 31: Hlavní podvozek - vysunutý stav



Obrázek 32: Hlavní podvozek - zasunutý stav



Obrázek 33: Předový podvozek - vysunutý stav



Obrázek 34: Předový podvozek - zasunutý stav

6 Napěťová analýza konstrukce podvozku

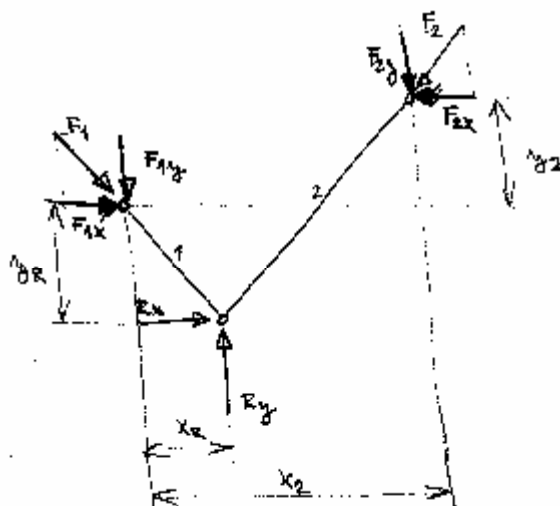
Pro účely této kapitoly budeme modelovat vzpěry jako pruty. Budou kontrolovány na vzpěrnou stabilitu. Boční zatížení bude kontrolováno navíc na ohyb. Pro zjednodušení kontroly je předpokládáno, že boční zatížení přenáší ohybem pouze přední dvojice vzpěr které jsou kratší a tím pádem mají větší tuhost. Zadní zlomovací vzpěry nebudou pro přenos ohybu uvažovány. Toto zjednodušení je na bezpečné straně.

Materiál konstrukce podvozku: ocel ČSN 15 130 nebo
 L-CM3.7 nebo
 AISI: 4130

6.1 Hlavní podvozek

6.1.1 Zatížení hlavního podvozku svislou a vodorovnou složkou zatížení

Rozvedení sil do konstrukce podvozku – uvolnění v závěsech ukazuje Obrázek 35.



Obrázek 35: Výpočet sil ve vzpěrách hl. podvozku

Napěťová analýza bude provedena pro početní zatížení s faktorem bezpečnosti $f=1.5$

$$R_x = 1.5F_H$$

$$R_y = 1.5F_V$$

Silová rovnováha po uvolnění:

$$F_{1x} + R_x = F_{2x}$$

$$F_{1y} + F_{2y} = R_y$$

Geometrické podmínky pro natočení vektoru reakčních sil v závěsech:

$$\frac{F_{1x}}{F_{1y}} = \frac{x_R}{y_R}$$

$$\frac{F_{2x}}{F_{2y}} = \frac{x_2 - x_R}{y_2 + y_R}$$

Řešení soustavy rovnic:

$$F_{2y} = \frac{R_x + R_y \frac{x_R}{y_R}}{\frac{x_2 - x_R}{y_2 + y_R} + \frac{x_R}{y_R}}$$

$$F_{1y} = R_y - F_{2y}$$

$$F_{1x} = F_{1y} \frac{x_R}{y_R}$$

$$F_{2x} = F_{2y} \frac{x_2 - x_R}{y_2 + y_R}$$

Osové síly v prutech:

Předpokládá se rovnoměrné přerozdělení sil mezi pravou a levou vzpěrou.

$$F_1 = \frac{1}{2} \sqrt{F_{1x}^2 + F_{1y}^2}$$

$$F_2 = \frac{1}{2} \sqrt{F_{2x}^2 + F_{2y}^2}$$

Normální napětí ve vzpěře v místě s nejmenším průřezem.

$$s_1 = \frac{F_1}{A_{1\min}}$$

$$s_2 = \frac{F_2}{A_{2\min}}$$

Bezpečnost k smluvní mezi kluzu $R_{p0.2}$:

$$k1_{R_{p0.2}} = \frac{s_1}{R_{p0.2}}$$

$$k2_{R_{p0.2}} = \frac{s_2}{R_{p0.2}}$$

Bezpečnost k mezi ztráty stability trubky výztuhy:

Napětí na mezi ztráty stability výztuhy s_{KV} odečteno z [2] Tab. 2.3

$$k1_{s_{KV}} = \frac{s_{1KV}}{s_1}$$

$$k2_{s_{KV}} = \frac{s_{2KV}}{s_2}$$

Kontrola uložení vzpěr na otláčení bronzového pouzdra od ocelového kroužku:

Napětí v otláčení:

$$s_{1otl} = \frac{F_1}{A_{otl}} = \frac{F_1}{d \cdot s}$$

$$s_{2otl} = \frac{F_2}{A_{otl}} = \frac{F_2}{d \cdot s}$$

Povolené napětí v otláčení:

$$s_{potl} = 400 \text{ MPa}$$

Bezpečnost k povolenému napětí v otláčení:

$$k1_{otl} = \frac{S_{potl}}{S_{1otl}}$$

$$k2_{otl} = \frac{S_{potl}}{S_{2otl}}$$

Výpočet je proveden viz. Tabulka 15.

popis geometrie		
xR	103	[mm]
yR	185	[mm]
x2	340	[mm]
y2	195	[mm]

zatížení		
Rx	8968.202	[N]
Ry	18592.81	[N]
Rz	0	[N]

osové síly v prutech		
F1x	1239.424	[N]
F1y	2226.15	[N]
F1	1273.962	[N]
F2x	10207.63	[N]
F2y	16366.66	[N]
F2	9644.469	[N]

průřezy vzpěr		
d1	30	[mm]
s1	2.5	[mm]
A1	215.9845	[mm ²]
d2	30	[mm]
s2	2.5	[mm]
A2	215.9845	[mm ²]

normální napětí ve vzpěrách		
σ1	5.898395	[MPa]
σ2	44.65352	[MPa]

bezpečnost k meznímu stavu pružnosti		
R _{p0.2}	690	[MPa]
k1 _{Rp0.2}	116.981	[1]
k2 _{Rp0.2}	15.45231	[1]

bezpečnost k meznímu stavu zráty vzpěrné stability trubky vzpěry		
σ _{1KV}	795	[MPa]
k1 _{KV}	134.7824	[1]
σ _{2KV}	800	[MPa]
k2 _{KV}	17.91572	[1]

otlačení bronzového pouzdra od ocelového kroužku		
σ_{potl}	400	[MPa]
s	4	[mm]
d	14	[mm]
A _{otl}	56	[mm ²]
σ_{1otl}	22.74932	[MPa]
σ_{2otl}	172.2227	[MPa]
k _{1otl}	17.58294	[1]
k _{2otl}	2.322575	[1]

Tabulka 15: Napětíová analýza pro hlavní podvozek 1

Jak je vidět mez vzpěrné stability trubek nastává až za smluvní mezí kluzu použitého materiálu.

6.1.2 Boční zatížení hlavního podvozku:

Osové síly v prutech jsou stanoveny podle stejných vzorců jako v předešlém případě. Boční síla zatěžuje přední vzpěry ohybem. Maximální ohybový moment působí v místě uložení vzpěry. Na tlačené straně ohýbané vzpěry se napětí sčítá s osovým tlakovým napětím od osových síly ve vzpěře. Na tažené straně ohýbané vzpěry se napětí odčítá od osového napětí od osových síly ve vzpěře. Torzní moment boční síly působící na přední vzpěry je zanedbán.

Ohybový moment od stranové síly v místě uložení přední vzpěry:

$$R_y = 1.5F_V$$

$$R_z = 1.5F_S$$

Ohybový moment od stranové síly v místě uložení přední vzpěry:

$$M_b = R_z \cdot \left(\sqrt{x_R^2 + y_R^2} + y_{R1} \cdot \cos \left(\arctg \left(\frac{x_R}{y_R} \right) \right) \right),$$

kde y_{R1} je výška osy kola nad VPD při stlačené pneumatice.

Normální napětí od ohybu v místě uložení přední vzpěry:

$$s_b = \frac{M_b}{W_b}$$

Maximální tlakové napětí na tlakové straně ohýbané přední vzpěry:

$$s_p = s_b + s_1$$

Maximální tahové napětí na tahové straně ohýbané přední vzpěry:

$$s_t = s_b - s_1$$

Výpočet je proveden viz. Tabulka 16

popis geometrie		
x _R	103	[mm]
y _R	185	[mm]
x ₂	340	[mm]
y ₂	195	[mm]

zatížení		
Rx	0	[N]
Ry	9296.404	[N]
Rz	5577.842	[N]

osové síly v prutech		
F1x	2734.645	[N]
F1y	4911.741	[N]
F1	2810.849	[N]
F2x	2734.645	[N]
F2y	4384.663	[N]
F2	2583.774	[N]

průřezy vzpěr		
d1	30	[mm]
s1	2.5	[mm]
A1	215.9845	[mm ²]
d2	30	[mm]
s2	2.5	[mm]
A2	215.9845	[mm ²]

normální napětí ve vzpěrách		
σ_1	13.01412	[MPa]
σ_2	11.96278	[MPa]

Ohybový moment v místě uložení přední vzpěry		
L1	305.2275	[mm]
Mb	851255.5	[N*mm]

Normální napětí od ohybu v místě uložení přední vzpěry		
W_b	1373	[mm ³]
σ_b	619.9967	[MPa]

Maximální normální napětí v tlaku v místě uložení přední vzpěry		
σ_{pmax}	633.0109	[MPa]

Maximální normálové napětí v tahu v místě uložení přední vzpěry		
σ_{tmax}	606.9826	[MPa]

Počet cyklů (0 - max tah napětí) při provozním zatížení		
N	10442.83	[1]

bezpečnost k meznímu stavu pružnosti		
$R_{p0.2}$	690	[MPa]
$k1_{Rp0.2}$	1.090029	[1]
$k2_{Rp0.2}$	57.67892	[1]

bezpečnost k meznímu stavu zráty vzpěrné stability trubky vzpěry		
σ_{1KV}	795	[MPa]
k_{1KV}	61.08748	[1]
σ_{2KV}	800	[MPa]
k_{2KV}	66.87411	[1]

otlačení bronzového pouzdra od ocelového kroužku		
σ_{potl}	400	[MPa]
s	4	[mm]
d	14	[mm]
A _{otl}	56	[mm ²]
σ_{1otl}	50.19373	[MPa]
σ_{2otl}	46.13882	[MPa]
k_{1otl}	7.969123	[1]
k_{2otl}	8.669489	[1]

Tabulka 16: Napěťová analýza pro hlavní podvozek 2

Jak je vidět ve výsledcích výše, boční síla při početním zatížení způsobuje ohybový moment který vyvolává normální napětí téměř rovné mezi kluzu použité oceli 15 130.

Kvůli poměrně vysoké hladině napětí byla provedena alespoň velmi jednoduchá analýza životnosti podvozku při cyklickém zatížení boční silou o provozní velikosti. Počet cyklů 0 až maximální tahové napětí v místě uložení do poruchy je přibližně 9200. Bezpečný počet je $10400/8=1300$ cyklů. Bezpečný počet cyklů (přistání) je poměrně nízký⁴ proto bude vhodné v dalším návrhu podvozek modifikovat za účelem snížit tahové napětí v tomto místě. Pokud se použije podvozek podle tohoto návrhu bude vhodné předepsat pravidelné kontroly tohoto místa při předletové prohlídce.

⁴ Běžný počet startů se u tohoto typu větroně pokud není použit pro výcvik dá odhadnout na 100 startů ročně. Při takovémto používání je bezpečná životnost podvozku 13 let, což je dostatečná životnost. Poté je možné podvozek snadno vyměnit za nový.

6.2 Předový podvozek

Konstrukce předového podvozku je prakticky totožná s konstrukcí hlavního podvozku. Proto je výpočet proveden analogicky.

6.2.1 Přistání na dva body

popis geometrie		
xR	90	[mm]
yR	120	[mm]
x2	273	[mm]
y2	124	[mm]

zatížení		
Rx	2680.11	[N]
Ry	5556.384	[N]

síly v prutech		
F1x	743.5889	[N]
F1y	991.4519	[N]
F1	619.6574	[N]
F2x	3423.699	[N]
F2y	4564.932	[N]
F2	2853.083	[N]

průřezy vzpěr		
d1	30	[mm]
s1	1.5	[mm]
A1	134.3031	[mm ²]
d2	30	[mm]
s2	1.5	[mm]
A2	134.3031	[mm ²]

normální napětí ve vzpěrách		
σ_1	4.613873	[MPa]
σ_2	21.24361	[MPa]

bezpečnost k meznímu stavu pružnosti		
$R_{p0.2}$	690	[MPa]
$k1_{Rp0.2}$	149.549	[1]
$k2_{Rp0.2}$	32.48035	[1]

bezpečnost k meznímu stavu zráty vzpěrné stability trubky vzpěry		
σ_{1KV}	795	[MPa]
$k1_{KV}$	172.3064	[1]
σ_{2KV}	800	[MPa]
$k2_{KV}$	37.65838	[1]

otlačení bronzového pouzdra od ocelového kroužku		
σ_{potl}	400	[MPa]
s	4	[mm]
d	14	[mm]
A _{otl}	56	[mm ²]
σ_{1otl}	11.06531	[MPa]
σ_{2otl}	50.9479	[MPa]
k _{1otl}	36.14901	[1]
k _{2otl}	7.851157	[1]

Tabulka 17: Napěťová analýza předového podvozku 1

6.2.2 Přistání na konec křídla – boční síla na předové kolo

popis geometrie		
x _R	90	[mm]
y _R	120	[mm]
x ₂	273	[mm]
y ₂	124	[mm]

zatížení		
R _x	0	[N]
R _y	0	[N]
R _z	2387.64	[N]

osové síly v prutech		
F _{1x}	0	[N]
F _{1y}	0	[N]
F ₁	0	[N]
F _{2x}	0	[N]
F _{2y}	0	[N]
F ₂	0	[N]

průřezy vzpěr		
d ₁	30	[mm]
s ₁	1.5	[mm]
A ₁	134.3031	[mm ²]
d ₂	30	[mm]
s ₂	1.5	[mm]
A ₂	134.3031	[mm ²]

normální napětí ve vzpěrách		
σ_1	0	[MPa]
σ_2	0	[MPa]

Ohybový moment v místě uložení přední vzpěry		
L ₁	238	[mm]
M _b	284129.2	[N*mm]

Normální napětí od ohybu v místě uložení přední vzpěry		
W _b	912	[mm ³]
σ_b	311.5452	[MPa]

Počet cyklů (0 - max tah napětí) při provozním zatížení		
N	150466.2	[1]

bezpečnost k meznímu stavu pružnosti		
$R_{p0.2}$	690	[MPa]
$k1_{Rp0.2}$	2.214767	[1]

Tabulka 18: Napěťová analýza předřového podvozku 2

6.3 Průkaz únosnosti konstrukce podvozku

Únosnost konstrukce podvozku bude prokazována pevnostní zkouškou při 150% stanoveného provozního zatížení viz. Tabulka 14. Dále bude provedena zkouška na padostroji shozem s energií 531 J.

Kritickým případem zatížení bude zřejmě boční zatížení hlavního podvozku.

7 Závěr

V této práci bylo stanoveno zatížení křídla kluzáku TST-14 MC Bonus, byla navržena kompozitní konstrukce křídla: skladba potahů a stojiny. Byly použity materiály, které maximálně zjednodušují technologii výroby kompozitních dílů, jako je 3D skelná tkanina Paraglas® použitá na potahy a pultrudované CFK profily z nichž jsou vyskládány pásnice nosníku křídla.

Byla navržena konstrukce zatahovatelného hlavního a příďového podvozku, klasické svařované trubkové konstrukce. Bylo stanoveno zatížení podvozku podle předpisu ULK. Byla provedena velice zjednodušená napěťová analýza konstrukce. Těžiště průkazu únosnosti konstrukce bude ležet na statických pevnostních zkouškách a na zkoušce na padostroji.

Podařilo se naplnit cíle diplomové práce. V průběhu zpracování této práce se autor naučil pracovat v CAD systému SolidWorks.

V průběhu výpočtu zatížení křídla v tabulkovém procesoru se autor přesvědčil o enormní náchylnosti k chybám při použití tohoto výpočetního nástroje. Další podobný výpočet již autor jistě zpracuje formou komentovaného programového kódu.

Díky této diplomové práci byla započata slibně se rozvíjející spolupráce mezi autorem práce a firmou TeST s.r.o.

8 Přílohy

Příloha 1

Rozložení vztlaku na křídle, formátovaný výstup z programu Glauert III.

Příloha 2

Výpočet zatížení křídla a určení VVÚ pro pravou polovinu. Obsahuje rovněž přepočet Kroutícího momentu k středu smyku torzních dutin.

Příloha 3

Pevnostní kontrola nosníku křídla (bez krakorce) pro rozhodující případy zatížení.

Příloha 4

Kontrola potahu křídla pro rozhodující případy zatížení.

Příloha 5

Zatížení krakorce a pevnostní kontrola pro všechny případy zatížení.

Příloha 6

Zatížení kořenového žebra a pevnostní kontrola pro rozhodující případy zatížení.

Příloha 7

Analýza rozmístění hmot v rovině symetrie kluzáku.

Příloha 8

Stanovení charakteristiky hlavního podvozku.

Příloha 9

Výpočet případů zatížení podvozku podle požadavků předpisu ULK.

Příloha 10

Kladecí plán potahu křídla.

Příloha 11

Výkres sestavy hlavního podvozku.\

Příloha 12

Výkres sestavy předového podvozku.

9 Seznam použitých symbolů a zkratek

organizace:

VUT	Vysoké Učení Technické v Brně
LÚ	Letecký Ústav VUT
IDAFLIEG	Zájmová společnost německých akademických aviatických skupin (Interessengemeinschaft deutscher akademischer Fliegergruppen)

obecné:

SS	souřadný systém
x, y, z	souřadnicové osy, vzdálenosti od počátku SS ve směru jednotlivých os
pr.	průměr
A	plocha (area)
Δ	přírůstek
d	přírůstek
r	hustota
g	gravitační zrychlení
t	tloušťka (thickness)
s	délka (length)
h	výška (height)
U	plocha dutiny v řezu
u (v dolním indexu)	horní (upper)
l (v dolním indexu)	spodní (lower)
L (v dolním indexu)	vlevo, levý (left)
R (v dolním indexu)	vpravo, pravý (right)
ref (v dolním indexu)	vztažný (reference)
ekv	ekvivalentní
VPD	vzletová a přistávací dráha

materiály:

CFK	umělá hmota zpevněná uhlíkovými vlákny (Carbon Faserverstärkte Kunststoffe)
GFK	umělá hmota zpevněná skleněnými vlákny (Glasfaserverstärkt Kunststoffe)
PE	PolyEthylen
AL	hliník, hliníkový
92110	kompozitní vrstva (označení výztuže dle Interglas)
92125	kompozitní vrstva (označení výztuže dle Interglas)
98340	kompozitní vrstva (označení výztuže dle Interglas)
.....	směr rovnoběžně s vlákny výztuže
⊥	kolmo na směr vláken výztuže
✕	směr 45° ke směru vláken výztuže
Vf	objemový podíl vláken (volume fraction of fibers)

letoun:

mTOW	maximální vzletová hmotnost (takeoff weight)
S	smluvní plocha křídla
VOP	vodorovná ocasní plocha
SOP	svislá ocasní plocha
VK	výškové kormidlo

SGT	střední geometrická tětíva
SAT	střední aerodynamická tětíva
NB	neutrální bod
NH	náběžná hrana
PC	přední centráž
ZC	zadní centráž
 x0.25	 poloha aerodynamické osy
d_{aileron}	výchylka křídélka (kladná směrem dolů)

letová obálka, aerodynamika:

MSA	mezinárodní standardní atmosféra
0 (v dolním indexu)	v 0 m MSA
Re	Reynoldsovo číslo
 n1, n2, n3, n4	 násobky letové obálky
 V	 rychlost
VS0	pádová rychlost v přistávací konfiguraci
VS1	pádová rychlost v jiné než přistávací (definované) konfiguraci
VD	návrhová maximální rychlost
VA	návrhová obrátová rychlost
VB	maximální rychlost letu v poryvech
VG	pádová rychlost při letu na zádech
VH	maximální rychlost ve vodorovném letu při maximálním přípustném trvalém výkonu
VF	návrhová rychlost letu s vysunutými vztlakovými klapkami
VSF	výpočtová pádová rychlost s plně vysunutými vztlakovými klapkami při maximální vzletové hmotnosti
U	rychlost ostře ohraničeného vertikálního poryvu
m	relativní hmotnostní poměr letounu
k	zmírňující součinitel poryvu
 α_0	 úhel nulového vztlaku
α	sklon vztlakové čáry
α_w	sklon vztlakové čáry křídla
 L	 vztlak
CL	součinitel vztlaku letounu
CLmax	maximální součinitel vztlaku letounu
CLmin	minimální součinitel vztlaku letounu
w (v dolním indexu)	křídlo (wing)
f (v dolním indexu)	profil (airfoil)
 CMp	 součinitel klopivého momentu (pitching moment)
cl _c (z)	rozložení místního součinitele vztlaku po rozpětí křídla
cl _n (z)	rozložení normálního součinitele vztlaku po rozpětí křídla
cl ₀ (z)	nulové rozložení vztlaku od kroucení křídla po rozpětí křídla
cl _{ksym} (z)	rozložení součinitele vztlaku od symetrické výchylky křídélka
cl _{krantis} (z)	rozložení součinitele vztlaku od antisymetrické výchylky křídélka
cl _{tlum} (z)	rozložení součinitele vztlaku od aerodynamického tlumení rotace

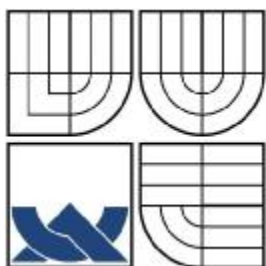
zatížení, pevnost:

n	násobek zatížení
f	součinitel bezpečnosti (safety factor)
q	liniové zatížení

T	posouvající síla (translating force)
M	moment
M _b	ohybový moment (bending moment)
M _t	kroučící moment (torsion moment)
p (v dolním indexu)	od klopivého momentu profilu (airfoil pitching)
CG	těžiště (center of gravity)
qm	tok hmotnosti (mass flow)
G (v dolním indexu)	tíha (gravity)
e	úhlové zrychlení
J	kvadratický moment setrvačnosti
i (v dolním indexu)	setrvačnost (inertia)
E	modul pružnosti v tahu (Young modulus)
G	modul pružnosti ve smyku (Shear modulus)
s	normální napětí, tahové/tlakové napětí (normal stress)
t	tečné napětí, smykové napětí (shear stress)
p (v dolním indexu)	povolený (permitted)
n (v dolním indexu)	požadovaný (needed)
t (v dolním indexu)	v tahu (in tension)
c (v dolním indexu)	v tlaku (in compression)
h _e	efektivní výška nosníku
f (v dolním indexu)	pásnice (flange)
w (v dolním indexu)	stojina (web)
P (v dolním indexu)	čep, kolík (pin)
rr (v dolním indexu)	kořenové žebro (root rib)
N	normální síla (normal force)
RF	faktor rezervy k návrhovým hodnotám (reserve factor)
SR	podíl vrstvy na přenosu zatížení (stiffness ratio)
R	reakce, reakční síla (reaction)

10 Literatura

- [1] Typový návrh kluzáku TST-14MC (interní materiál firmy TeST)
- [2] Soubor podkladů pro pevnostní výpočty leteckých konstrukcí, Letecký ústav VUT Brno 1997
- [3] IDAFLIEG Dimensionierungsrichtwerte für den Segel – und Motorsegelflugzeugbau, 1988
- [4] Kompozitní konstrukce v letectví, zpráva č. LU01-2007-OST.ST, Doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D., Letecký ústav VUT v Brně, 2008
- [5] Požadavky na letovou způsobilost ULK (Ultralehké kluzáky a motorové ultralehké kluzáky), Aeroklub České Republiky, První vydání, 1998.
- [6] Obliczenia stosowane przy projektowaniu szybowców, Wiesław Stafiej, Polsko



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

NÁVRH KONSTRUKCE KRÍDLA A PODVOZKU KLUZÁKU TST-14 MC (TABULKOVÉ PŘÍLOHY)

DESIGN OF WING AND LANDING GEAR FOR TST 14 MC GLIDER (TABULAR
APPENDIXES)

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JAN ŠTĚPÁNEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. ING. JAROSLAV JURAČKA, PHD.

BRNO 2009

plná výchylka křídélka								
Plocha křídla $S = 12.084 \text{ m}^2$ Štíhlost křídla $\Lambda = 23.916$ Max. součinitel vztlaku křídla je $Cl_{křídla} = 1.0794$ Sklon vztlakové čáry křídla $= 5.9696 \text{ rad}^{-1}$ Úhel nulového vztlaku křídla (v ose křídla) $\alpha_{0křídla} = -4.3293^\circ$ (bez uvažování vlivu vztlakové mechanizace) Glauertův opravný součinitel $\delta = 0.0277$ (pro výpočet indukovaného odporu - určený z normálního rozložení) Součinitel indukovaného odporu $C_{xi} = 0.0159$ (pro součinitel vztlaku křídla $Cl_{křídla} = 1.0794$) Symetrická výchylka křídélka $\delta_{sym} = -6^\circ$ (záporná hodnota = výchylka nahoru) Antisymetrická výchylka křídélka $\delta_{sym} = 18^\circ$ Součinitel momentu klonění od výchylky křídélka $c_{mx} = 0.0856$ (od antisymetrického rozložení) Součinitel momentu klonění od tlumení $c_{mxtl} = 0.5519$ (pro bezrozměrnou úhlovou rychlost 1)								

theta	z	c	cln	cl0	clksym	clkrantis	clkl	cltlum
0	8.5	0.36	0	0	0	0	0	0
0.922	8.499	0.36	0.0484	-0.0026	0	0.011	0	-0.2091
1.823	8.496	0.36	0.1501	-0.0081	0	0.0343	0	-0.6491
2.723	8.49	0.361	0.2231	-0.012	-0.0002	0.0514	0	-0.9641
3.635	8.483	0.362	0.2947	-0.0158	-0.0006	0.0686	0	-1.2725
4.543	8.473	0.363	0.3666	-0.0196	-0.001	0.0864	0	-1.5822
5.455	8.462	0.364	0.4239	-0.0226	-0.0019	0.1018	0	-1.8269
6.365	8.448	0.365	0.4835	-0.0257	-0.0029	0.1185	0	-2.0813
7.274	8.432	0.367	0.5353	-0.0283	-0.0043	0.1346	0	-2.3004
8.181	8.414	0.368	0.5831	-0.0306	-0.0062	0.151	0	-2.5014
9.092	8.393	0.37	0.6294	-0.0328	-0.0086	0.1683	0	-2.6951
9.999	8.371	0.372	0.6672	-0.0345	-0.0116	0.1863	0	-2.8502
10.909	8.346	0.375	0.705	-0.0361	-0.0153	0.2059	0	-3.004
11.819	8.32	0.377	0.7374	-0.0374	-0.02	0.2271	0	-3.1333
12.726	8.291	0.38	0.7671	-0.0385	-0.0259	0.2517	0	-3.2496
13.636	8.26	0.383	0.7951	-0.0394	-0.033	0.2797	0	-3.3574
14.544	8.228	0.386	0.8184	-0.04	-0.0429	0.3143	0	-3.4429
15.453	8.193	0.39	0.841	-0.0406	-0.0554	0.3567	0	-3.5248
16.363	8.156	0.393	0.8604	-0.0409	-0.0748	0.4196	0	-3.5908
17.272	8.117	0.397	0.8782	-0.041	-0.107	0.5203	0	-3.6487
18.182	8.076	0.401	0.8946	-0.041	-0.1512	0.6562	0	-3.6997
19.091	8.033	0.405	0.9085	-0.0409	-0.1748	0.7303	0	-3.7379
20	7.987	0.409	0.9219	-0.0406	-0.1939	0.7909	0	-3.7729
20.908	7.94	0.414	0.9332	-0.0402	-0.2055	0.8277	0	-3.7976
21.819	7.891	0.419	0.9437	-0.0397	-0.2153	0.8595	0	-3.8175
22.727	7.84	0.424	0.9533	-0.0391	-0.2232	0.8859	0	-3.8322
23.637	7.787	0.429	0.9615	-0.0383	-0.2292	0.9054	0	-3.8396
24.545	7.732	0.434	0.9693	-0.0375	-0.2346	0.923	0	-3.8443
25.454	7.675	0.44	0.9759	-0.0366	-0.2383	0.9362	0	-3.8424
26.364	7.616	0.445	0.982	-0.0356	-0.2417	0.9477	0	-3.8374
27.273	7.555	0.451	0.9876	-0.0345	-0.2446	0.957	0	-3.8288
28.181	7.492	0.457	0.9923	-0.0333	-0.2464	0.9639	0	-3.8156
29.091	7.428	0.464	0.9969	-0.0321	-0.248	0.97	0	-3.8003
30	7.361	0.47	1.0007	-0.0308	-0.2491	0.9738	0	-3.7806
30.909	7.293	0.477	1.0042	-0.0295	-0.2499	0.9766	0	-3.7588
31.818	7.223	0.483	1.0073	-0.0281	-0.25	0.9782	0	-3.7343
32.727	7.151	0.49	1.01	-0.0266	-0.2499	0.9783	0	-3.7068
33.637	7.077	0.497	1.0125	-0.0251	-0.2497	0.9777	0	-3.6776
34.545	7.001	0.505	1.0145	-0.0236	-0.2486	0.9753	0	-3.6454
35.454	6.924	0.512	1.0164	-0.022	-0.2473	0.972	0	-3.6116

theta	z	c	cln	cl0	clkrsym	clkrantis	clkl	cltlum
36.364	6.845	0.52	1.0179	-0.0203	-0.2459	0.9676	0	-3.5757
37.272	6.764	0.528	1.0192	-0.0187	-0.2437	0.9613	0	-3.5376
38.181	6.682	0.536	1.0204	-0.017	-0.241	0.9541	0	-3.4982
39.091	6.597	0.544	1.0213	-0.0152	-0.238	0.9446	0	-3.4565
40	6.511	0.552	1.022	-0.0135	-0.2343	0.9334	0	-3.4135
40.909	6.424	0.56	1.0225	-0.0117	-0.2295	0.9197	0	-3.3689
41.819	6.335	0.569	1.0227	-0.01	-0.224	0.9028	0	-3.3225
42.728	6.244	0.578	1.0229	-0.0082	-0.218	0.8843	0	-3.275
43.637	6.152	0.587	1.0227	-0.0065	-0.2087	0.857	0	-3.2256
44.545	6.058	0.596	1.0225	-0.0047	-0.1983	0.8256	0	-3.1751
45.455	5.963	0.605	1.0219	-0.003	-0.1855	0.7865	0	-3.123
46.363	5.866	0.614	1.0211	-0.0014	-0.1642	0.7225	0	-3.0693
47.273	5.767	0.624	1.0201	0.0002	-0.1382	0.6449	0	-3.0145
48.182	5.668	0.633	1.0186	0.0016	-0.0951	0.5147	0	-2.9575
48.79	5.6	0.64	1.0174	0.0024	-0.0397	0.3477	0	-2.9183
50	5.464	0.649	1.0201	0.0034	-0.0081	0.254	0	-2.8542
50.909	5.36	0.655	1.0217	0.0039	0.0078	0.2064	0	-2.8037
51.818	5.254	0.662	1.023	0.0044	0.019	0.1725	0	-2.7516
52.727	5.148	0.669	1.0239	0.0047	0.0272	0.1484	0	-2.6975
53.637	5.04	0.676	1.0247	0.005	0.0345	0.1269	0	-2.6424
54.545	4.931	0.683	1.0253	0.0052	0.0395	0.1114	0	-2.586
55.455	4.82	0.69	1.0257	0.0054	0.044	0.098	0	-2.5284
56.364	4.708	0.697	1.0261	0.0056	0.0482	0.086	0	-2.4698
57.273	4.595	0.705	1.0262	0.0058	0.0509	0.0771	0	-2.4102
58.182	4.481	0.712	1.0263	0.0059	0.0536	0.0688	0	-2.3498
59.091	4.366	0.719	1.0263	0.006	0.056	0.0619	0	-2.2885
60	4.25	0.727	1.0262	0.0062	0.058	0.0558	0	-2.2264
60.909	4.133	0.734	1.0259	0.0063	0.0595	0.0504	0	-2.1636
61.818	4.014	0.742	1.0256	0.0063	0.0611	0.0459	0	-2.1
62.727	3.895	0.75	1.0252	0.0064	0.0626	0.0416	0	-2.0359
63.636	3.775	0.757	1.0247	0.0065	0.0635	0.038	0	-1.9712
64.545	3.653	0.765	1.0242	0.0065	0.0645	0.0348	0	-1.9059
65.455	3.531	0.773	1.0236	0.0066	0.0656	0.0317	0	-1.84
66.364	3.408	0.781	1.0228	0.0066	0.0662	0.0291	0	-1.7737
67.273	3.284	0.789	1.0221	0.0067	0.0668	0.0267	0	-1.7069
68.182	3.159	0.797	1.0212	0.0067	0.0676	0.0245	0	-1.6397
69.091	3.034	0.805	1.0202	0.0067	0.0681	0.0225	0	-1.5721
70	2.907	0.813	1.0192	0.0068	0.0683	0.0207	0	-1.5042
70.909	2.78	0.821	1.0181	0.0068	0.0689	0.0191	0	-1.436
71.818	2.652	0.829	1.017	0.0068	0.0694	0.0175	0	-1.3675
72.727	2.524	0.838	1.0157	0.0068	0.0695	0.0161	0	-1.2988
73.637	2.395	0.846	1.0143	0.0068	0.0697	0.0148	0	-1.2298
74.546	2.265	0.854	1.0129	0.0069	0.0701	0.0135	0	-1.1607
75.454	2.135	0.863	1.0113	0.0069	0.0702	0.0124	0	-1.0916
76.363	2.004	0.871	1.0097	0.0069	0.0702	0.0113	0	-1.0222
77.273	1.873	0.88	1.0079	0.0069	0.0705	0.0103	0	-0.9528
78.182	1.741	0.888	1.006	0.0069	0.0706	0.0093	0	-0.8834
79.091	1.609	0.897	1.004	0.0069	0.0704	0.0084	0	-0.8139
80	1.476	0.905	1.0017	0.0069	0.0705	0.0076	0	-0.7447
80.909	1.343	0.914	0.9995	0.0069	0.0707	0.0067	0	-0.6753
81.818	1.21	0.922	0.9969	0.0069	0.0705	0.006	0	-0.6063
82.728	1.076	0.931	0.9942	0.0068	0.0703	0.0052	0	-0.5374
83.637	0.942	0.939	0.9913	0.0068	0.0704	0.0045	0	-0.4687
84.545	0.808	0.948	0.988	0.0068	0.0702	0.0038	0	-0.4004

theta	z	c	cln	cl0	clksym	clkrantis	clkl	cltlum
85.455	0.674	0.957	0.9846	0.0068	0.0698	0.0031	0	-0.3322
86.364	0.539	0.965	0.9806	0.0068	0.0698	0.0025	0	-0.2647
87.273	0.404	0.974	0.9762	0.0067	0.0696	0.0018	0	-0.1975
87.593	0.357	0.977	0.9745	0.0067	0.0694	0.0016	0	-0.1741
89.091	0.135	0.991	0.9653	0.0067	0.0687	0.0006	0	-0.0653
90	0	1	0.9588	0.0066	0.0685	0	0	0

třetinová výchylka křídélka								
Plocha křídla $S = 12.084 \text{ m}^2$ Štíhlost křídla $\Lambda = 23.916$ Max. součinitel vztlaku křídla je $Cl_{křídla} = 1.5464$ Sklon vztlakové čáry křídla $= 5.9696 \text{ rad}^{-1}$ 0 Úhel nulového vztlaku křídla (v ose křídla) $\alpha_{0křídla} = -4.3293^\circ$ (bez uvažování vlivu vztlakové mechanizace) Glauertův opravný součinitel $\delta = 0.0277$ (pro výpočet indukovaného odporu - určený z normálního rozložení) Součinitel indukovaného odporu $C_{xi} = 0.0327$ (pro součinitel vztlaku křídla $Cl_{křídla} = 1.5464$) Symetrická výchylka křídélka $\delta_{sym} = -2^\circ$ (záporná hodnota = výchylka nahoru) Antisymetrická výchylka křídélka $\delta_{sym} = 6^\circ$ Součinitel momentu klonění od výchylky křídélka $c_{mx} = 0.0285$ (od antisymetrického rozložení) Součinitel momentu klonění od tlumení $c_{mxtl} = 0.5519$ (pro bezrozměrnou úhlovou rychlost 1)								

theta	z	c	cln	cl0	clksym	clkrantis	clkl	cltlum
0	8.5	0.36	0	0	0	0	0	0
0.922	8.499	0.36	0.0484	-0.0026	0	0.0037	0	-0.2091
1.823	8.496	0.36	0.1501	-0.0081	0	0.0114	0	-0.6491
2.723	8.49	0.361	0.2231	-0.012	0	0.0171	0	-0.9641
3.635	8.483	0.362	0.2947	-0.0158	-0.0002	0.0229	0	-1.2725
4.543	8.473	0.363	0.3666	-0.0196	-0.0003	0.0288	0	-1.5822
5.455	8.462	0.364	0.4239	-0.0226	-0.0006	0.0339	0	-1.8269
6.365	8.448	0.365	0.4835	-0.0257	-0.0009	0.0395	0	-2.0813
7.274	8.432	0.367	0.5353	-0.0283	-0.0014	0.0449	0	-2.3004
8.181	8.414	0.368	0.5831	-0.0306	-0.002	0.0503	0	-2.5014
9.092	8.393	0.37	0.6294	-0.0328	-0.0028	0.0561	0	-2.6951
9.999	8.371	0.372	0.6672	-0.0345	-0.0038	0.0621	0	-2.8502
10.909	8.346	0.375	0.705	-0.0361	-0.0051	0.0686	0	-3.004
11.819	8.32	0.377	0.7374	-0.0374	-0.0066	0.0757	0	-3.1333
12.726	8.291	0.38	0.7671	-0.0385	-0.0086	0.0839	0	-3.2496
13.636	8.26	0.383	0.7951	-0.0394	-0.011	0.0932	0	-3.3574
14.544	8.228	0.386	0.8184	-0.04	-0.0143	0.1048	0	-3.4429
15.453	8.193	0.39	0.841	-0.0406	-0.0184	0.1189	0	-3.5248
16.363	8.156	0.393	0.8604	-0.0409	-0.0249	0.1399	0	-3.5908
17.272	8.117	0.397	0.8782	-0.041	-0.0356	0.1734	0	-3.6487
18.182	8.076	0.401	0.8946	-0.041	-0.0504	0.2187	0	-3.6997
19.091	8.033	0.405	0.9085	-0.0409	-0.0582	0.2434	0	-3.7379
20	7.987	0.409	0.9219	-0.0406	-0.0646	0.2636	0	-3.7729
20.908	7.94	0.414	0.9332	-0.0402	-0.0685	0.2759	0	-3.7976
21.819	7.891	0.419	0.9437	-0.0397	-0.0717	0.2865	0	-3.8175
22.727	7.84	0.424	0.9533	-0.0391	-0.0744	0.2953	0	-3.8322
23.637	7.787	0.429	0.9615	-0.0383	-0.0764	0.3018	0	-3.8396
24.545	7.732	0.434	0.9693	-0.0375	-0.0782	0.3077	0	-3.8443
25.454	7.675	0.44	0.9759	-0.0366	-0.0794	0.3121	0	-3.8424
26.364	7.616	0.445	0.982	-0.0356	-0.0805	0.3159	0	-3.8374
27.273	7.555	0.451	0.9876	-0.0345	-0.0815	0.319	0	-3.8288
28.181	7.492	0.457	0.9923	-0.0333	-0.0821	0.3213	0	-3.8156

theta	z	c	cln	cl0	clkrsym	clkrantis	clkl	cltlum
29.091	7.428	0.464	0.9969	-0.0321	-0.0826	0.3233	0	-3.8003
30	7.361	0.47	1.0007	-0.0308	-0.083	0.3246	0	-3.7806
30.909	7.293	0.477	1.0042	-0.0295	-0.0833	0.3255	0	-3.7588
31.818	7.223	0.483	1.0073	-0.0281	-0.0833	0.3261	0	-3.7343
32.727	7.151	0.49	1.01	-0.0266	-0.0833	0.3261	0	-3.7068
33.637	7.077	0.497	1.0125	-0.0251	-0.0832	0.3259	0	-3.6776
34.545	7.001	0.505	1.0145	-0.0236	-0.0828	0.3251	0	-3.6454
35.454	6.924	0.512	1.0164	-0.022	-0.0824	0.324	0	-3.6116
36.364	6.845	0.52	1.0179	-0.0203	-0.0819	0.3225	0	-3.5757
37.272	6.764	0.528	1.0192	-0.0187	-0.0812	0.3204	0	-3.5376
38.181	6.682	0.536	1.0204	-0.017	-0.0803	0.318	0	-3.4982
39.091	6.597	0.544	1.0213	-0.0152	-0.0793	0.3149	0	-3.4565
40	6.511	0.552	1.022	-0.0135	-0.0781	0.3111	0	-3.4135
40.909	6.424	0.56	1.0225	-0.0117	-0.0765	0.3066	0	-3.3689
41.819	6.335	0.569	1.0227	-0.01	-0.0746	0.3009	0	-3.3225
42.728	6.244	0.578	1.0229	-0.0082	-0.0726	0.2948	0	-3.275
43.637	6.152	0.587	1.0227	-0.0065	-0.0695	0.2857	0	-3.2256
44.545	6.058	0.596	1.0225	-0.0047	-0.0661	0.2752	0	-3.1751
45.455	5.963	0.605	1.0219	-0.003	-0.0618	0.2622	0	-3.123
46.363	5.866	0.614	1.0211	-0.0014	-0.0547	0.2408	0	-3.0693
47.273	5.767	0.624	1.0201	0.0002	-0.046	0.215	0	-3.0145
48.182	5.668	0.633	1.0186	0.0016	-0.0317	0.1716	0	-2.9575
48.79	5.6	0.64	1.0174	0.0024	-0.0132	0.1159	0	-2.9183
50	5.464	0.649	1.0201	0.0034	-0.0027	0.0847	0	-2.8542
50.909	5.36	0.655	1.0217	0.0039	0.0026	0.0688	0	-2.8037
51.818	5.254	0.662	1.023	0.0044	0.0063	0.0575	0	-2.7516
52.727	5.148	0.669	1.0239	0.0047	0.0091	0.0495	0	-2.6975
53.637	5.04	0.676	1.0247	0.005	0.0115	0.0423	0	-2.6424
54.545	4.931	0.683	1.0253	0.0052	0.0132	0.0371	0	-2.586
55.455	4.82	0.69	1.0257	0.0054	0.0147	0.0327	0	-2.5284
56.364	4.708	0.697	1.0261	0.0056	0.0161	0.0287	0	-2.4698
57.273	4.595	0.705	1.0262	0.0058	0.017	0.0257	0	-2.4102
58.182	4.481	0.712	1.0263	0.0059	0.0179	0.0229	0	-2.3498
59.091	4.366	0.719	1.0263	0.006	0.0187	0.0206	0	-2.2885
60	4.25	0.727	1.0262	0.0062	0.0193	0.0186	0	-2.2264
60.909	4.133	0.734	1.0259	0.0063	0.0198	0.0168	0	-2.1636
61.818	4.014	0.742	1.0256	0.0063	0.0204	0.0153	0	-2.1
62.727	3.895	0.75	1.0252	0.0064	0.0209	0.0139	0	-2.0359
63.636	3.775	0.757	1.0247	0.0065	0.0212	0.0127	0	-1.9712
64.545	3.653	0.765	1.0242	0.0065	0.0215	0.0116	0	-1.9059
65.455	3.531	0.773	1.0236	0.0066	0.0219	0.0106	0	-1.84
66.364	3.408	0.781	1.0228	0.0066	0.0221	0.0097	0	-1.7737
67.273	3.284	0.789	1.0221	0.0067	0.0223	0.0089	0	-1.7069
68.182	3.159	0.797	1.0212	0.0067	0.0225	0.0082	0	-1.6397
69.091	3.034	0.805	1.0202	0.0067	0.0227	0.0075	0	-1.5721
70	2.907	0.813	1.0192	0.0068	0.0228	0.0069	0	-1.5042
70.909	2.78	0.821	1.0181	0.0068	0.023	0.0064	0	-1.436
71.818	2.652	0.829	1.017	0.0068	0.0231	0.0058	0	-1.3675
72.727	2.524	0.838	1.0157	0.0068	0.0232	0.0054	0	-1.2988
73.637	2.395	0.846	1.0143	0.0068	0.0232	0.0049	0	-1.2298
74.546	2.265	0.854	1.0129	0.0069	0.0234	0.0045	0	-1.1607
75.454	2.135	0.863	1.0113	0.0069	0.0234	0.0041	0	-1.0916
76.363	2.004	0.871	1.0097	0.0069	0.0234	0.0038	0	-1.0222
77.273	1.873	0.88	1.0079	0.0069	0.0235	0.0034	0	-0.9528

theta	z	c	cln	clo	clksym	clkrantis	clkl	cltlum
78.182	1.741	0.888	1.006	0.0069	0.0235	0.0031	0	-0.8834
79.091	1.609	0.897	1.004	0.0069	0.0235	0.0028	0	-0.8139
80	1.476	0.905	1.0017	0.0069	0.0235	0.0025	0	-0.7447
80.909	1.343	0.914	0.9995	0.0069	0.0236	0.0022	0	-0.6753
81.818	1.21	0.922	0.9969	0.0069	0.0235	0.002	0	-0.6063
82.728	1.076	0.931	0.9942	0.0068	0.0234	0.0017	0	-0.5374
83.637	0.942	0.939	0.9913	0.0068	0.0235	0.0015	0	-0.4687
84.545	0.808	0.948	0.988	0.0068	0.0234	0.0013	0	-0.4004
85.455	0.674	0.957	0.9846	0.0068	0.0233	0.001	0	-0.3322
86.364	0.539	0.965	0.9806	0.0068	0.0233	0.0008	0	-0.2647
87.273	0.404	0.974	0.9762	0.0067	0.0232	0.0006	0	-0.1975
87.593	0.357	0.977	0.9745	0.0067	0.0231	0.0005	0	-0.1741
89.091	0.135	0.991	0.9653	0.0067	0.0229	0.0002	0	-0.0653
90	0	1	0.9588	0.0066	0.0228	0	0	0

legenda
theta - úhel udávající polohu daného řezu (viz. nápověda)
z - poloha řezu po rozpětí křídla (0 = osa křídla)
c - hloubka křídla v daném řezu
cln - hodnota normálního součinitele vztlaku
clo - hodnota nulového součinitele vztlaku
clksym - hodnota symetrického součinitele vztlaku od výchylky křídélka (nulový)
clkrantis - hodnota antisymetrického součinitele vztlaku od výchylky křídélka
clkl - hodnota součinitele vztlaku od výchylky klapky (nulový)
cltlum - hodnota místního součinitele vztlaku od tlumení
clp - hodnota profilového součinitele vztlaku

početní zatížení v řezech			geometrie				síly do pásnic		napětí v pásnicích		faktor rezervy		kontrola stojiny		
z	T	Mb	he	Afu	Afl	tw	Nfu	Nfl	Sfu	Sfl	RF fu	RF fl	qw	Tw	RF w
[m]	[N]	[N*m]	[mm]	[mm ²]	[mm ²]	[mm]	[N]	[N]	[MPa]	[MPa]	[1]	[1]	[N/mm]	[MPa]	[1]
5.866	-1925	2217	111	38.44	38.44	0.54	-19889	19889	-517.4	517.4	2.51	3.48	-17.3	-32.0	2.81
5.767	-2026	2418	114	38.44	38.44	0.54	-21223	21223	-552.1	552.1	2.35	3.26	-17.8	-32.9	2.73
5.668	-2127	2629	116	57.66	38.44	0.54	-22588	22588	-391.7	587.6	3.32	3.06	-18.3	-33.9	2.66
5.6	-2198	2778	118	57.66	38.44	0.54	-23533	23533	-408.1	612.2	3.19	2.94	-18.6	-34.5	2.61
5.464	-2341	3096	120	57.66	38.44	0.54	-25851	25851	-448.3	672.5	2.90	2.68	-19.5	-36.2	2.49
5.36	-2453	3351	121	57.66	38.44	0.54	-27675	27675	-480.0	719.9	2.71	2.50	-20.3	-37.5	2.40
5.254	-2567	3624	122	57.66	38.44	0.54	-29592	29592	-513.2	769.8	2.53	2.34	-21.0	-38.8	2.32
5.148	-2684	3908	124	57.66	57.66	0.72	-31567	31567	-547.5	547.5	2.37	3.29	-21.7	-30.1	2.99
5.04	-2803	4211	125	76.88	57.66	0.72	-33638	33638	-437.5	583.4	2.97	3.09	-22.4	-31.1	2.89
4.931	-2926	4530	127	76.88	57.66	0.72	-35788	35788	-465.5	620.7	2.79	2.90	-23.1	-32.1	2.80
4.82	-3051	4868	128	76.88	57.66	0.72	-38039	38039	-494.8	659.7	2.63	2.73	-23.8	-33.1	2.72
4.708	-3180	5225	129	76.88	57.66	0.72	-40371	40371	-525.1	700.2	2.48	2.57	-24.6	-34.1	2.64
4.595	-3311	5599	131	76.88	57.66	0.72	-42786	42786	-556.5	742.0	2.34	2.43	-25.3	-35.1	2.56
4.481	-3444	5991	132	96.1	57.66	0.72	-45284	45284	-471.2	785.4	2.76	2.29	-26.0	-36.2	2.49
4.366	-3580	6403	134	96.1	76.88	0.72	-47865	47865	-498.1	622.6	2.61	2.89	-26.8	-37.2	2.42
4.25	-3719	6834	135	96.1	76.88	0.72	-50532	50532	-525.8	657.3	2.47	2.74	-27.5	-38.2	2.36
4.133	-3860	7286	137	96.1	76.88	0.72	-53283	53283	-554.5	693.1	2.34	2.60	-28.2	-39.2	2.30
4.014	-4005	7763	138	115.32	76.88	0.9	-56146	56146	-486.9	730.3	2.67	2.46	-29.0	-32.2	2.80
3.895	-4152	8257	139	115.32	76.88	0.9	-59224	59224	-513.6	770.3	2.53	2.34	-29.8	-33.1	2.72
3.775	-4301	8773	141	115.32	96.1	0.9	-62243	62243	-539.7	647.7	2.41	2.78	-30.5	-33.9	2.65
3.653	-4454	9316	142	115.32	96.1	0.9	-65377	65377	-566.9	680.3	2.29	2.65	-31.3	-34.7	2.59
3.531	-4609	9878	144	134.54	96.1	0.9	-68575	68575	-509.7	713.6	2.55	2.52	-32.0	-35.5	2.53
3.408	-4766	10465	146	134.54	96.1	0.9	-71862	71862	-534.1	747.8	2.43	2.41	-32.7	-36.4	2.47
3.284	-4926	11075	147	134.54	96.1	0.9	-75241	75241	-559.2	782.9	2.32	2.30	-33.5	-37.2	2.42
3.159	-5089	11711	149	153.76	115.32	0.9	-78710	78710	-511.9	682.5	2.54	2.64	-34.2	-38.0	2.37
3.034	-5253	12368	150	153.76	115.32	0.9	-82243	82243	-534.9	713.2	2.43	2.52	-34.9	-38.8	2.32
2.907	-5422	13057	152	153.76	115.32	0.9	-85925	85925	-558.8	745.1	2.33	2.42	-35.7	-39.6	2.27
2.78	-5592	13767	154	172.98	115.32	1.08	-89671	89671	-518.4	777.6	2.51	2.31	-36.4	-33.7	2.67
2.652	-5764	14505	155	172.98	134.54	1.08	-93513	93513	-540.6	695.1	2.40	2.59	-37.2	-34.4	2.62
2.524	-5938	15265	157	172.98	134.54	1.08	-97419	97419	-563.2	724.1	2.31	2.49	-37.9	-35.1	2.56
2.395	-6115	16054	158	192.2	134.54	1.08	-101421	101421	-527.7	753.8	2.46	2.39	-38.6	-35.8	2.52
2.265	-6295	16872	160	192.2	134.54	1.08	-105520	105520	-549.0	784.3	2.37	2.30	-39.4	-36.5	2.47
2.135	-6476	17714	162	192.2	153.76	1.08	-109682	109682	-570.7	713.3	2.28	2.52	-40.1	-37.1	2.42
2.004	-6660	18586	163	211.42	153.76	1.08	-113942	113942	-538.9	741.0	2.41	2.43	-40.8	-37.8	2.38
1.873	-6845	19483	165	211.42	153.76	1.08	-118264	118264	-559.4	769.1	2.32	2.34	-41.6	-38.5	2.34
1.741	-7033	20411	166	230.64	153.76	1.08	-122684	122684	-531.9	797.9	2.44	2.26	-42.3	-39.1	2.30
1.609	-7223	21365	168	230.64	172.98	1.08	-127167	127167	-551.4	735.2	2.36	2.45	-43.0	-39.8	2.26
1.476	-7415	22351	170	230.64	172.98	1.26	-131748	131748	-571.2	761.6	2.28	2.36	-43.7	-34.7	2.59
1.343	-7608	23363	171	249.86	172.98	1.26	-136390	136390	-545.9	788.5	2.38	2.28	-44.4	-35.2	2.55
1.21	-7802	24400	173	249.86	192.2	1.26	-141093	141093	-564.7	734.1	2.30	2.45	-45.1	-35.8	2.51
1.076	-7999	25472	175	269.08	192.2	1.26	-145894	145894	-542.2	759.1	2.40	2.37	-45.8	-36.4	2.48
0.942	-8197	26571	176	288.3	192.2	1.26	-150755	150755	-522.9	784.4	2.49	2.29	-46.5	-36.9	2.44
0.808	-8396	27696	178	307.52	211.42	1.26	-155675	155675	-506.2	736.3	2.57	2.44	-47.2	-37.5	2.40
0.674	-8596	28848	180	326.74	230.64	1.26	-160653	160653	-491.7	696.6	2.64	2.58	-47.9	-38.0	2.37
0.539	-8798	30036	181	345.96	249.86	1.44	-165728	165728	-479.0	663.3	2.71	2.71	-48.5	-33.7	2.67
0.404	-9001	31251	182	365.18	269.08	1.62	-171299	171299	-469.1	636.6	2.77	2.83	-49.3	-30.5	2.96
0.357	-9072	31677	183	365.18	269.08	1.62	-173085	173085	-474.0	643.2	2.74	2.80	-49.6	-30.6	2.94

5.04	-2105	-21655	-21583	-14051	0	-7604	0	-14005	0	-7578	0	-78.1	-	-2.5	-	-77.8	-	-2.5	-	-66	-60	1.15	-	19.73	-	1.16	-	19.79	-	1.35	1.50
4.931	-2186	-21973	-21978	-14257	0	-7715	0	-14261	0	-7717	0	-79.2	-	-2.6	-	-79.2	-	-2.6	-	-69	-61	1.14	-	19.44	-	1.14	-	19.44	-	1.31	1.47
4.82	-2269	-22285	-22366	-14460	0	-7825	0	-14513	0	-7853	0	-80.3	-	-2.6	-	-80.6	-	-2.6	-	-71	-62	1.12	-	19.17	-	1.12	-	19.10	-	1.27	1.45
4.708	-2353	-22589	-22742	-14657	0	-7931	0	-14757	0	-7985	0	-81.4	-	-2.6	-	-82.0	-	-2.7	-	-73	-63	1.11	-	18.91	-	1.10	-	18.78	-	1.24	1.42
4.595	-2438	-22886	-23107	-14850	0	-8036	0	-14994	0	-8113	0	-82.5	-	-2.7	-	-83.3	-	-2.7	-	-75	-64	1.09	-	18.67	-	1.08	-	18.49	-	1.20	1.40
4.481	-2524	-23174	-23461	-15037	0	-8137	0	-15223	0	-8238	0	-83.5	-	-2.7	-	-84.6	-	-2.7	-	-77	-65	1.08	-	18.43	-	1.06	-	18.21	-	1.17	1.38
4.366	-2611	-23454	-23803	-15219	0	-8235	0	-15445	0	-8358	0	-84.5	-	-2.7	-	-85.8	-	-2.8	-	-79	-66	1.06	-	18.21	-	1.05	-	17.95	-	1.14	1.36
4.25	-2699	-23727	-24136	-15396	0	-8331	0	-15661	0	-8475	0	-85.5	-	-2.8	-	-87.0	-	-2.8	-	-81	-67	1.05	-	18.00	-	1.03	-	17.70	-	1.11	1.34
4.133	-2787	-23992	-24457	-15568	0	-8424	0	-15869	0	-8587	0	-86.5	-	-2.8	-	-88.2	-	-2.9	-	-83	-68	1.04	-	17.81	-	1.02	-	17.47	-	1.08	1.32
4.014	-2876	-24233	-24768	-15724	0	-8509	0	-16072	0	-8697	0	-87.4	-	-2.8	-	-89.3	-	-2.9	-	-68	-69	1.03	-	17.63	-	1.01	-	17.25	-	1.31	1.31
3.895	-2945	-24937	-24232	-9813	-9813	-5310	0	-9536	-9536	-5160	0	-54.5	-54.5	-1.8	-	-53.0	-53.0	-1.7	-	-72	-67	1.65	1.65	28.25	-	1.70	1.70	29.07	-	1.26	1.34
3.775	-3036	-25185	-24516	-9911	-9911	-5363	0	-9648	-9648	-5221	0	-55.1	-55.1	-1.8	-	-53.6	-53.6	-1.7	-	-73	-68	1.63	1.63	27.97	-	1.68	1.68	28.73	-	1.23	1.32
3.653	-3127	-25429	-24792	-10007	-10007	-5415	0	-9756	-9756	-5279	0	-55.6	-55.6	-1.8	-	-54.2	-54.2	-1.8	-	-75	-69	1.62	1.62	27.70	-	1.66	1.66	28.41	-	1.20	1.31
3.531	-3219	-25664	-25057	-10099	-10099	-5465	0	-9860	-9860	-5336	0	-56.1	-56.1	-1.8	-	-54.8	-54.8	-1.8	-	-77	-70	1.60	1.60	27.45	-	1.64	1.64	28.11	-	1.17	1.29
3.408	-3311	-25891	-25311	-10189	-10189	-5513	0	-9961	-9961	-5390	0	-56.6	-56.6	-1.8	-	-55.3	-55.3	-1.8	-	-79	-70	1.59	1.59	27.21	-	1.63	1.63	27.83	-	1.14	1.28
3.284	-3403	-26111	-25557	-10275	-10275	-5560	0	-10057	-10057	-5442	0	-57.1	-57.1	-1.9	-	-55.9	-55.9	-1.8	-	-80	-71	1.58	1.58	26.98	-	1.61	1.61	27.56	-	1.12	1.27
3.159	-3497	-26323	-25793	-10359	-10359	-5605	0	-10150	-10150	-5492	0	-57.5	-57.5	-1.9	-	-56.4	-56.4	-1.8	-	-82	-72	1.56	1.56	26.76	-	1.60	1.60	27.31	-	1.09	1.26
3.034	-3590	-26527	-26018	-10439	-10439	-5649	0	-10239	-10239	-5540	0	-58.0	-58.0	-1.9	-	-56.9	-56.9	-1.8	-	-84	-72	1.55	1.55	26.55	-	1.58	1.58	27.07	-	1.07	1.25
2.907	-3685	-26594	-26169	-10466	-10466	-5663	0	-10298	-10298	-5573	0	-58.1	-58.1	-1.9	-	-57.2	-57.2	-1.9	-	-86	-73	1.55	1.55	26.49	-	1.57	1.57	26.92	-	1.05	1.24
2.78	-3782	-26673	-26314	-10496	-10496	-5680	0	-10355	-10355	-5603	0	-58.3	-58.3	-1.9	-	-57.5	-57.5	-1.9	-	-73	-73	1.54	1.54	26.41	-	1.56	1.56	26.77	-	1.24	1.23
2.652	-3878	-26729	-26446	-10519	-10519	-5692	0	-10407	-10407	-5632	0	-58.4	-58.4	-1.9	-	-57.8	-57.8	-1.9	-	-74	-73	1.54	1.54	26.35	-	1.56	1.56	26.64	-	1.21	1.23
2.524	-3973	-26783	-26570	-10540	-10540	-5703	0	-10456	-10456	-5658	0	-58.6	-58.6	-1.9	-	-58.1	-58.1	-1.9	-	-76	-74	1.54	1.54	26.30	-	1.55	1.55	26.51	-	1.19	1.22
2.395	-4069	-26832	-26685	-10559	-10559	-5714	0	-10501	-10501	-5683	0	-58.7	-58.7	-1.9	-	-58.3	-58.3	-1.9	-	-77	-74	1.53	1.53	26.25	-	1.54	1.54	26.40	-	1.17	1.21
2.265	-4165	-26877	-26792	-10577	-10577	-5723	0	-10543	-10543	-5705	0	-58.8	-58.8	-1.9	-	-58.6	-58.6	-1.9	-	-79	-74	1.53	1.53	26.21	-	1.54	1.54	26.29	-	1.15	1.21
2.135	-4260	-26919	-26891	-10593	-10593	-5732	0	-10582	-10582	-5726	0	-58.9	-58.9	-1.9	-	-58.8	-58.8	-1.9	-	-80	-75	1.53	1.53	26.17	-	1.53	1.53	26.19	-	1.12	1.20
2.004	-4356	-26956	-26982	-10608	-10608	-5740	0	-10618	-10618	-5746	0	-58.9	-58.9	-1.9	-	-59.0	-59.0	-1.9	-	-81	-75	1.53	1.53	26.13	-	1.53	1.53	26.11	-	1.10	1.20
1.873	-4451	-26990	-27065	-10621	-10621	-5748	0	-10651	-10651	-5763	0	-59.0	-59.0	-1.9	-	-59.2	-59.2	-1.9	-	-83	-75	1.53	1.53	26.10	-	1.52	1.52	26.03	-	1.09	1.20
1.741	-4546	-27020	-27141	-10633	-10633	-5754	0	-10681	-10681	-5780	0	-59.1	-59.1	-1.9	-	-59.3	-59.3	-1.9	-	-84	-75	1.52	1.52	26.07	-	1.52	1.52	25.95	-	1.07	1.19
1.609	-4641	-27046	-27209	-10643	-10643	-5759	0	-10707	-10707	-5794	0	-59.1	-59.1	-1.9	-	-59.5	-59.5	-1.9	-	-86	-76	1.52	1.52	26.04	-	1.51	1.51	25.89	-	1.05	1.19
1.476	-4734	-27061	-27267	-10649	-10649	-5762	0	-10730	-10730	-5806	0	-59.2	-59.2	-1.9	-	-59.6	-59.6	-1.9	-	-75	-76	1.52	1.52	26.03	-	1.51	1.51	25.83	-	1.20	1.19
1.343	-4828	-27077	-27320	-10656	-10656	-5766	0	-10751	-10751	-5818	0	-59.2	-59.2	-1.9	-	-59.7	-59.7	-1.9	-	-76	-76	1.52	1.52	26.01	-	1.51	1.51	25.78	-	1.18	1.19
1.21	-4921	-27089	-27365	-10660	-10660	-5769	0	-10769	-10769	-5827	0	-59.2	-59.2	-1.9	-	-59.8	-59.8	-1.9	-	-77	-76	1.52	1.52	26.00	-	1.50	1.50	25.74	-	1.17	1.18
1.076	-5049	-26677	-28144	-10498	-10498	-5681	0	-11075	-11075	-5993	0	-58.3	-58.3	-1.9	-	-61.5	-61.5	-2.0	-	-77	-52	1.54	1.54	26.41	-	1.46	1.46	25.03	-	1.16	1.73
0.942	-5142	-26682	-28175	-10500	-10500	-5682	0	-11088	-11088	-6000	0	-58.3	-58.3	-1.9	-	-61.6	-61.6	-2.0	-	-79	-52	1.54	1.54	26.40	-	1.46	1.46	25.00	-	1.14	1.72
0.808	-5234	-26684	-28200	-10501	-10501	-5682	0	-11098	-11098	-6005	0	-58.3	-58.3	-1.9	-	-61.7	-61.7	-2.0	-	-80	-52	1.54	1.54	26.40	-	1.46	1.46	24.98	-	1.13	1.72
0.674	-5325	-26682	-28218	-10500	-10500	-5682	0	-11105	-11105	-6009	0	-58.3	-58.3	-1.9	-	-61.7	-61.7	-2.0	-	-81	-52	1.54	1.54	26.40	-	1.46	1.46	24.96	-	1.11	1.72
0.539	-5410	-26631	-28214	-10480	-10480	-5671	0	-11103	-11103	-6008	0	-58.2	-58.2	-1.9	-	-61.7	-61.7	-2.0	-	-72	-52	1.55	1.55	26.45	-	1.46	1.46	24.97	-	1.25	1.72
0.404	-5465	-27102	-27482	-7047	-7047	-3814	-9194	-7146	-7146	-3867	-9323	-39.2	-39.2	-1.3	-14.6	-39.7	-39.7	-1.3	-14.8	-66	-51	2.30	2.30	39.33	6.17	2.27	2.27	38.79	6.08	1.37	1.77
0.357	-5495	-27094	-27481	-7045	-7045	-3812	-9191	-7146	-7146	-3867	-9322	-39.1	-39.1	-1.3	-14.6	-39.7	-39.7	-1.3	-14.8	-66	-51	2.30	2.30	39.34	6.17	2.27	2.27	38.79	6.08	1.37	1.77

3.531	4725	3308	26374	25750	10379	10379	5616	0	10133	10133	5483	0	57.7	57.7	1.9	-	56.3	56.3	1.8	-	35	72	1.56	1.56	26.71	-	1.60	1.60	27.36	-	2.54	1.26
3.408	4875	3424	26774	26175	10536	10536	5701	0	10301	10301	5574	0	58.5	58.5	1.9	-	57.2	57.2	1.9	-	36	73	1.54	1.54	26.31	-	1.57	1.57	26.91	-	2.49	1.24
3.284	5028	3542	27175	26598	10694	10694	5787	0	10467	10467	5664	0	59.4	59.4	1.9	-	58.2	58.2	1.9	-	37	74	1.51	1.51	25.92	-	1.55	1.55	26.48	-	2.44	1.22
3.159	5183	3663	27576	27020	10852	10852	5872	0	10633	10633	5754	0	60.3	60.3	2.0	-	59.1	59.1	1.9	-	38	75	1.49	1.49	25.54	-	1.52	1.52	26.07	-	2.40	1.20
3.034	5339	3785	27974	27437	11009	11009	5957	0	10797	10797	5843	0	61.2	61.2	2.0	-	60.0	60.0	1.9	-	38	76	1.47	1.47	25.18	-	1.50	1.50	25.67	-	2.35	1.18
2.907	5500	3912	28231	27779	11110	11110	6012	0	10932	10932	5916	0	61.7	61.7	2.0	-	60.7	60.7	2.0	-	39	77	1.46	1.46	24.95	-	1.48	1.48	25.36	-	2.31	1.17
2.78	5661	4041	28498	28114	11215	11215	6069	0	11064	11064	5987	0	62.3	62.3	2.0	-	61.5	61.5	2.0	-	33	78	1.44	1.44	24.72	-	1.46	1.46	25.05	-	2.73	1.15
2.652	5826	4171	28755	28450	11316	11316	6123	0	11196	11196	6058	0	62.9	62.9	2.0	-	62.2	62.2	2.0	-	34	79	1.43	1.43	24.50	-	1.45	1.45	24.76	-	2.68	1.14
2.524	5991	4304	29013	28783	11417	11417	6178	0	11327	11327	6129	0	63.4	63.4	2.1	-	62.9	62.9	2.0	-	34	80	1.42	1.42	24.28	-	1.43	1.43	24.47	-	2.64	1.13
2.395	6160	4439	29274	29114	11520	11520	6234	0	11457	11457	6200	0	64.0	64.0	2.1	-	63.7	63.7	2.1	-	35	81	1.41	1.41	24.06	-	1.41	1.41	24.19	-	2.60	1.11
2.265	6331	4577	29537	29444	11623	11623	6290	0	11587	11587	6270	0	64.6	64.6	2.1	-	64.4	64.4	2.1	-	35	82	1.39	1.39	23.85	-	1.40	1.40	23.92	-	2.56	1.10
2.135	6503	4716	29801	29770	11727	11727	6346	0	11715	11715	6340	0	65.2	65.2	2.1	-	65.1	65.1	2.1	-	36	83	1.38	1.38	23.64	-	1.38	1.38	23.66	-	2.52	1.09
2.004	6678	4858	30068	30096	11832	11832	6403	0	11844	11844	6409	0	65.7	65.7	2.1	-	65.8	65.8	2.1	-	36	84	1.37	1.37	23.43	-	1.37	1.37	23.40	-	2.48	1.08
1.873	6854	5002	30336	30420	11938	11938	6460	0	11971	11971	6478	0	66.3	66.3	2.2	-	66.5	66.5	2.2	-	37	84	1.36	1.36	23.22	-	1.35	1.35	23.16	-	2.44	1.07
1.741	7033	5149	30606	30743	12044	12044	6517	0	12098	12098	6547	0	66.9	66.9	2.2	-	67.2	67.2	2.2	-	37	85	1.35	1.35	23.02	-	1.34	1.34	22.91	-	2.41	1.05
1.609	7213	5298	30877	31063	12151	12151	6575	0	12224	12224	6615	0	67.5	67.5	2.2	-	67.9	67.9	2.2	-	38	86	1.33	1.33	22.81	-	1.33	1.33	22.68	-	2.37	1.04
1.476	7395	5449	31146	31384	12257	12257	6633	0	12350	12350	6683	0	68.1	68.1	2.2	-	68.6	68.6	2.2	-	33	87	1.32	1.32	22.62	-	1.31	1.31	22.44	-	2.73	1.03
1.343	7579	5602	31420	31702	12365	12365	6691	0	12476	12476	6751	0	68.7	68.7	2.2	-	69.3	69.3	2.3	-	33	88	1.31	1.31	22.42	-	1.30	1.30	22.22	-	2.69	1.02
1.21	7764	5757	31694	32018	12473	12473	6749	0	12600	12600	6818	0	69.3	69.3	2.2	-	70.0	70.0	2.3	-	34	89	1.30	1.30	22.22	-	1.29	1.29	22.00	-	2.65	1.01
1.076	7951	5931	31336	33060	12332	12332	6673	0	13010	13010	7040	0	68.5	68.5	2.2	-	72.3	72.3	2.3	-	33	61	1.31	1.31	22.48	-	1.25	1.25	21.31	-	2.70	1.47
0.942	8139	6091	31608	33377	12439	12439	6731	0	13135	13135	7107	0	69.1	69.1	2.2	-	73.0	73.0	2.4	-	34	62	1.30	1.30	22.29	-	1.23	1.23	21.10	-	2.66	1.46
0.808	8328	6253	31881	33692	12546	12546	6789	0	13259	13259	7175	0	69.7	69.7	2.3	-	73.7	73.7	2.4	-	34	62	1.29	1.29	22.09	-	1.22	1.22	20.91	-	2.62	1.44
0.674	8518	6417	32155	34006	12654	12654	6847	0	13382	13382	7242	0	70.3	70.3	2.3	-	74.3	74.3	2.4	-	35	63	1.28	1.28	21.91	-	1.21	1.21	20.71	-	2.59	1.43
0.539	8710	6582	32399	34325	12750	12750	6899	0	13508	13508	7309	0	70.8	70.8	2.3	-	75.0	75.0	2.4	-	31	64	1.27	1.27	21.74	-	1.20	1.20	20.52	-	2.92	1.42
0.404	8903	6735	33401	33870	8685	8685	4700	11330	8807	8807	4766	11490	48.3	48.3	1.6	18.0	48.9	48.9	1.6	18.2	29	63	1.87	1.87	31.92	5.00	1.84	1.84	31.47	4.93	3.14	1.43
0.357	8970	6794	33499	33976	8711	8711	4714	11364	8835	8835	4781	11526	48.4	48.4	1.6	18.0	49.1	49.1	1.6	18.3	29	63	1.86	1.86	31.82	4.99	1.83	1.83	31.38	4.92	3.13	1.43

2.78	7711	3795	48000	8.73E-12	3.26E-16	26765	26405	10533	10533	5700	0	10391	10391	5623	0	58.5	58.5	1.9	-	57.7	57.7	1.9	-	45	73	1.54	1.54	26.32	-	1.56	1.56	26.68	-	2.01	1.23
2.652	7942	3909	48958	9.26E-12	3.44E-16	26946	26660	10604	10604	5738	0	10492	10492	5677	0	58.9	58.9	1.9	-	58.3	58.3	1.9	-	46	74	1.53	1.53	26.14	-	1.54	1.54	26.42	-	1.97	1.22
2.524	8176	4024	49910	9.82E-12	3.62E-16	27126	26911	10675	10675	5776	0	10590	10590	5731	0	59.3	59.3	1.9	-	58.8	58.8	1.9	-	46	75	1.52	1.52	25.97	-	1.53	1.53	26.18	-	1.94	1.20
2.395	8413	4141	50863	1.04E-11	3.81E-16	27307	27158	10746	10746	5815	0	10687	10687	5783	0	59.7	59.7	1.9	-	59.4	59.4	1.9	-	47	75	1.51	1.51	25.80	-	1.52	1.52	25.94	-	1.91	1.19
2.265	8654	4259	51815	1.10E-11	4.01E-16	27488	27401	10817	10817	5854	0	10783	10783	5835	0	60.1	60.1	2.0	-	59.9	59.9	1.9	-	48	76	1.50	1.50	25.63	-	1.50	1.50	25.71	-	1.87	1.18
2.135	8896	4379	52761	1.17E-11	4.21E-16	27669	27640	10888	10888	5892	0	10877	10877	5886	0	60.5	60.5	2.0	-	60.4	60.4	2.0	-	49	77	1.49	1.49	25.46	-	1.49	1.49	25.48	-	1.84	1.17
2.004	9143	4500	53706	1.23E-11	4.42E-16	27850	27876	10960	10960	5930	0	10970	10970	5936	0	60.9	60.9	2.0	-	60.9	60.9	2.0	-	50	77	1.48	1.48	25.29	-	1.48	1.48	25.27	-	1.81	1.16
1.873	9391	4622	54645	1.30E-11	4.64E-16	28030	28108	11031	11031	5969	0	11061	11061	5985	0	61.3	61.3	2.0	-	61.5	61.5	2.0	-	51	78	1.47	1.47	25.13	-	1.46	1.46	25.06	-	1.78	1.15
1.741	9643	4746	55583	1.37E-11	4.87E-16	28210	28336	11102	11102	6007	0	11151	11151	6034	0	61.7	61.7	2.0	-	62.0	62.0	2.0	-	51	79	1.46	1.46	24.97	-	1.45	1.45	24.86	-	1.75	1.14
1.609	9897	4871	56515	1.45E-11	5.11E-16	28390	28561	11172	11172	6046	0	11240	11240	6082	0	62.1	62.1	2.0	-	62.4	62.4	2.0	-	52	79	1.45	1.45	24.81	-	1.44	1.44	24.66	-	1.73	1.13
1.476	10154	4997	57444	1.74E-11	6.09E-16	28565	28783	11241	11241	6083	0	11327	11327	6129	0	62.5	62.5	2.0	-	62.9	62.9	2.0	-	45	80	1.44	1.44	24.66	-	1.43	1.43	24.47	-	1.98	1.13
1.343	10413	5125	58367	1.83E-11	6.37E-16	28743	29001	11311	11311	6121	0	11413	11413	6176	0	62.8	62.8	2.0	-	63.4	63.4	2.1	-	46	81	1.43	1.43	24.51	-	1.42	1.42	24.29	-	1.95	1.12
1.21	10674	5253	59280	1.93E-11	6.67E-16	28921	29216	11381	11381	6159	0	11497	11497	6221	0	63.2	63.2	2.1	-	63.9	63.9	2.1	-	47	81	1.42	1.42	24.36	-	1.41	1.41	24.11	-	1.92	1.11
1.076	10938	5405	60192	2.93E-11	1.03E-15	28559	30129	11239	11239	6082	0	11857	11857	6416	0	62.4	62.4	2.0	-	65.9	65.9	2.1	-	47	56	1.44	1.44	24.66	-	1.37	1.37	23.38	-	1.93	1.61
0.942	11203	5537	61095	3.08E-11	1.07E-15	28733	30340	11307	11307	6119	0	11940	11940	6461	0	62.8	62.8	2.0	-	66.3	66.3	2.2	-	47	56	1.43	1.43	24.52	-	1.36	1.36	23.22	-	1.91	1.60
0.808	11469	5670	61989	3.23E-11	1.12E-15	28905	30547	11375	11375	6155	0	12021	12021	6505	0	63.2	63.2	2.1	-	66.8	66.8	2.2	-	48	57	1.42	1.42	24.37	-	1.35	1.35	23.06	-	1.88	1.59
0.674	11737	5803	62874	3.40E-11	1.17E-15	29078	30752	11443	11443	6192	0	12102	12102	6548	0	63.6	63.6	2.1	-	67.2	67.2	2.2	-	49	57	1.42	1.42	24.22	-	1.34	1.34	22.91	-	1.85	1.58
0.539	12008	5935	63754	3.99E-11	1.37E-15	29215	30951	11497	11497	6221	0	12180	12180	6591	0	63.9	63.9	2.1	-	67.7	67.7	2.2	-	43	57	1.41	1.41	24.11	-	1.33	1.33	22.76	-	2.09	1.57
0.404	12280	6050	64624	1.18E-10	3.92E-15	30003	30424	7802	7802	4222	10178	7911	7911	4281	10320	43.3	43.3	1.4	16.2	44.0	44.0	1.4	16.4	40	56	2.08	2.08	35.53	5.57	2.05	2.05	35.04	5.49	2.27	1.60
0.357	12374	6097	64924	1.19E-10	3.97E-15	30062	30490	7817	7817	4230	10198	7928	7928	4290	10343	43.4	43.4	1.4	16.2	44.0	44.0	1.4	16.4	40	56	2.07	2.07	35.46	5.56	2.04	2.04	34.96	5.48	2.26	1.59

Početní mezní hodnoty		
Sf p t	1800 MPa	maximální dovolené normální tahové napětí v pásnici
Sf p c	-1300 MPa	maximální dovolené normální tlakové napětí v pásnici
Tw p	90 MPa	maximální dovolené smykové napětí ve stojině

Případ zatížení 1																			
početní zatížení v řezech							geometrie				síly do pásnic		napětí v pásnicích		faktor rezervy		kontrola stojiny		
z [m]	T z případu [N]	dT [N]	T [N]	Tsum [N]	dMb [N*m]	Mb [N*m]	he [mm]	Afu [mm2]	Afl [mm2]	tw [mm]	Nfu [N]	Nfl [N]	Sfu [MPa]	Sfl [MPa]	RF fu [1]	RF fl [1]	qw [N/mm]	Tw [MPa]	RF w [1]
0.357	-20412	0	0	-20412	0	71274	183	365	269	1.62	-389440	389440	-1066.4	1447.3	1.22	1.24	-111.5	-68.8	1.31
0.3569	-20412	21622	21622	1209	0	71274	183	365	269	9.80	-389440	389440	-1066.4	1447.3	1.22	1.24	6.6	0.7	133.47
0.3	-20605	0	21622	1017	-58	71216	183	365	269	9.80	-389124	389124	-1065.6	1446.1	1.22	1.24	5.6	0.6	158.79
0.251	-20771	0	21622	851	-42	71174	183	365	269	9.80	-388896	388896	-1064.9	1445.3	1.22	1.25	4.6	0.5	189.78
0.25	-20774	142344	163966	143191	-143	71031	183	365	269	9.80	-388113	388113	-1062.8	1442.4	1.22	1.25	782.4	79.8	1.13
0.2	-20944	0	163966	143022	-7151	63880	183	346	269	9.80	-349040	349040	-1008.9	1297.2	1.29	1.39	781.5	79.7	1.13
0.15	-21113	0	163966	142852	-7143	56737	183	327	269	9.80	-310012	310012	-948.8	1152.1	1.37	1.56	780.5	79.6	1.13
0.1	-21283	0	163966	142683	-7134	49603	183	308	269	9.80	-271031	271031	-881.3	1007.3	1.48	1.79	779.6	79.6	1.13
0.05	-21452	0	163966	142514	-7126	42477	183	288	269	9.80	-232096	232096	-805.1	862.6	1.61	2.09	778.7	79.5	1.13
0	-21622	0	163966	142344	-7117	35360	183	269	269	9.80	-193208	193208	-718.0	718.0	1.81	2.51	777.8	79.4	1.13
-0.05	-21622	0	163966	142344	-7117	28243	183	250	250	9.80	-154319	154319	-617.6	617.6	2.10	2.91	777.8	79.4	1.13
-0.1	-21622	0	163966	142344	-7117	21126	183	231	231	9.80	-115431	115431	-500.5	500.5	2.60	3.60	777.8	79.4	1.13
-0.15	-21622	0	163966	142344	-7117	14008	183	211	211	9.80	-76542	76542	-362.0	362.0	3.59	4.97	777.8	79.4	1.13
-0.2	-21622	0	163966	142344	-7117	6891	183	192	192	9.80	-37654	37654	-195.9	195.9	6.64	9.19	777.8	79.4	1.13
-0.25	-21622	0	163966	142344	-7117	-226	183	173	173	9.80	1235	-1235	7.1	-7.1	252.16	182.12	777.8	79.4	1.13
-0.251	-21622	-142344	21622	0	0	-226	183	173	173	9.80	1235	-1235	7.1	-7.1	252.16	182.12	0.0	0.0	--
-0.3	-21622	0	21622	0	0	-226	183	154	154	9.80	1235	-1235	8.0	-8.0	224.14	161.88	0.0	0.0	--
-0.35	-21622	0	21622	0	0	-226	183	135	135	9.80	1235	-1235	9.2	-9.2	196.12	141.65	0.0	0.0	--

uvolnění celého křídla				uvolnění pravé poloviny křídla			
TL	21622	RL	-21622	RPL	142344		
TR	21622	RR	-21622	RPR	-142344		
ML	78891						
MR	-78891						
zrr	0.357						
zpin	0.250						

Případ zatížení 2																			
početní zatížení v řezech							geometrie				síly do pásnic		napětí v pásnicích		faktor rezervy		kontrola stojiny		
z [m]	T z případu [N]	dT [N]	T [N]	Tsum [N]	dMb [N*m]	Mb [N*m]	he [mm]	Afu [mm2]	Afl [mm2]	tw [mm]	Nfu [N]	Nfl [N]	Sfu [MPa]	Sfl [MPa]	RF fu [1]	RF fl [1]	qw [N/mm]	Tw [MPa]	RF w [1]
0.357	-16536	0	0	-16536	0	57107	183	365	269	1.62	-312032	312032	-854.5	1159.6	1.52	1.55	-90.4	-55.8	1.61
0.3569	-16536	17528	17528	991	0	57107	183	365	269	9.80	-312032	312032	-854.5	1159.6	1.52	1.55	5.4	0.6	162.86
0.3	-16694	0	17528	833	-47	57059	183	365	269	9.80	-311773	311773	-853.8	1158.7	1.52	1.55	4.6	0.5	193.75
0.251	-16830	0	17528	697	-34	57025	183	365	269	9.80	-311586	311586	-853.2	1158.0	1.52	1.55	3.8	0.4	231.57
0.25	-16833	114047	131575	114741	-115	56910	183	365	269	9.80	-310959	310959	-851.5	1155.6	1.53	1.56	626.9	64.0	1.41
0.2	-16972	0	131575	114602	-5730	51180	183	346	269	9.80	-279650	279650	-808.3	1039.3	1.61	1.73	626.2	63.9	1.41
0.15	-17111	0	131575	114464	-5723	45457	183	327	269	9.80	-248378	248378	-760.2	923.1	1.71	1.95	625.4	63.8	1.41
0.1	-17250	0	131575	114325	-5716	39741	183	308	269	9.80	-217144	217144	-706.1	807.0	1.84	2.23	624.7	63.7	1.41
0.05	-17389	0	131575	114186	-5709	34032	183	288	269	9.80	-185949	185949	-645.0	691.1	2.02	2.60	623.9	63.7	1.41
0	-17528	0	131575	114047	-5702	28329	183	269	269	9.80	-154791	154791	-575.3	575.3	2.26	3.13	623.2	63.6	1.42
-0.05	-17528	0	131575	114047	-5702	22627	183	250	250	9.80	-123633	123633	-494.8	494.8	2.63	3.64	623.2	63.6	1.42
-0.1	-17528	0	131575	114047	-5702	16924	183	231	231	9.80	-92476	92476	-401.0	401.0	3.24	4.49	623.2	63.6	1.42
-0.15	-17528	0	131575	114047	-5702	11222	183	211	211	9.80	-61318	61318	-290.0	290.0	4.48	6.21	623.2	63.6	1.42
-0.2	-17528	0	131575	114047	-5702	5520	183	192	192	9.80	-30160	30160	-156.9	156.9	8.28	11.47	623.2	63.6	1.42
-0.25	-17528	0	131575	114047	-5702	-183	183	173	173	9.80	998	-998	5.8	-5.8	312.08	225.39	623.2	63.6	1.42
-0.251	-17528	-114047	17528	0	0	-183	183	173	173	9.80	998	-998	5.8	-5.8	312.08	225.39	0.0	0.0	--
-0.3	-17528	0	17528	0	0	-183	183	154	154	9.80	998	-998	6.5	-6.5	277.40	200.34	0.0	0.0	--
-0.35	-17528	0	17528	0	0	-183	183	135	135	9.80	998	-998	7.4	-7.4	242.73	175.30	0.0	0.0	--

uvolnění celého křídla			uvolnění pravé poloviny křídla			
TL	17528		RL	-17528	RPL	114047
TR	17528		RR	-17528	RPR	-114047
ML	63281					
MR	-63281					
zrr	0.357					
zpin	0.250					

Případ zatížení 3																				
početní zatížení v řezech							geometrie				síly do pásnic		napětí v pásnicích		faktor rezervy		kontrola stojiny			
z [m]	T z případu [N]	dT [N]	T [N]	Tsum [N]	dMb [N*m]	Mb [N*m]	he [mm]	Afu [mm2]	Afl [mm2]	tw [mm]	Nfu [N]	Nfl [N]	Sfu [MPa]	Sfl [MPa]	RF fu [1]	RF fl [1]	qw [N/mm]	Tw [MPa]	RF w [1]	
0.357	10	0	0	10	0	-1011	183	365	269	1.62	5524	-5524	15.1	-20.5	118.99	63.32	0.1	0.0	2756.24	
0.3569	10	7	7	17	0	-1011	183	365	269	9.80	5524	-5524	15.1	-20.5	118.99	63.32	0.1	0.0	9497.61	
0.3	7	0	7	14	-1	-1012	183	365	269	9.80	5529	-5529	15.1	-20.5	118.89	63.27	0.1	0.0	#####	
0.251	5	0	7	12	-1	-1012	183	365	269	9.80	5532	-5532	15.1	-20.6	118.83	63.23	0.1	0.0	#####	
0.25	5	-2025	-2018	-2013	2	-1010	183	365	269	9.80	5521	-5521	15.1	-20.5	119.06	63.36	-11.0	-1.1	80.19	
0.2	2	0	-2018	-2015	101	-910	183	346	269	9.80	4970	-4970	14.4	-18.5	125.29	70.38	-11.0	-1.1	80.10	
0.15	0	0	-2018	-2018	101	-809	183	327	269	9.80	4419	-4419	13.5	-16.4	133.09	79.16	-11.0	-1.1	80.00	
0.1	-3	0	-2018	-2020	101	-708	183	308	269	9.80	3867	-3867	12.6	-14.4	143.14	90.46	-11.0	-1.1	79.91	
0.05	-5	0	-2018	-2022	101	-607	183	288	269	9.80	3315	-3315	11.5	-12.3	156.56	105.54	-11.1	-1.1	79.81	
0	-7	0	-2018	-2025	101	-505	183	269	269	9.80	2761	-2761	10.3	-10.3	175.40	126.68	-11.1	-1.1	79.72	
-0.05	-7	0	-2018	-2025	101	-404	183	250	250	9.80	2208	-2208	8.8	-8.8	203.67	147.10	-11.1	-1.1	79.72	
-0.1	-7	0	-2018	-2025	101	-303	183	231	231	9.80	1655	-1655	7.2	-7.2	250.85	181.17	-11.1	-1.1	79.72	
-0.15	-7	0	-2018	-2025	101	-202	183	211	211	9.80	1102	-1102	5.2	-5.2	345.40	249.46	-11.1	-1.1	79.72	
-0.2	-7	0	-2018	-2025	101	-100	183	192	192	9.80	549	-549	2.9	-2.9	630.64	455.46	-11.1	-1.1	79.72	
-0.25	-7	0	-2018	-2025	101	1	183	173	173	9.80	-5	5	0.0	0.0	#####	67513.13	-11.1	-1.1	79.72	
-0.251	-7	2025	7	0	0	1	183	173	173	9.80	-5	5	0.0	0.0	#####	67513.13	0.0	0.0	#####	
-0.3	-7	0	7	0	0	1	183	154	154	9.80	-5	5	0.0	0.0	#####	60011.67	0.0	0.0	#####	
-0.35	-7	0	7	0	0	1	183	135	135	9.80	-5	5	0.0	0.0	#####	52510.21	0.0	0.0	#####	
				uvolnění celého křídla					uvolnění pravé poloviny křídla											
				TL		7	RL		-7		RPL		-2025							
				TR		7	RR		-7		RPR		2025							
				ML		-1010														
				MR		1010														
				zrr		0.357														
				zpin		0.250														

Případ zatížení 4																				
početní zatížení v řezech							geometrie				síly do pásnic		napětí v pásnicích		faktor rezervy		kontrola stojiny			
z [m]	T z případu [N]	dT [N]	T [N]	Tsum [N]	dMb [N*m]	Mb [N*m]	he [mm]	Afu [mm2]	Afl [mm2]	tw [mm]	Nfu [N]	Nfl [N]	Sfu [MPa]	Sfl [MPa]	RF fu [1]	RF fl [1]	qw [N/mm]	Tw [MPa]	RF w [1]	
0.357	8970	0	0	8970	0	-32485	183	365	269	1.62	177500	-177500	486.1	-659.7	3.70	1.97	49.0	30.3	2.97	
0.3569	8970	-9481	-9481	-511	0	-32485	183	365	269	9.80	177500	-177500	486.1	-659.7	3.70	1.97	-2.8	-0.3	316.16	
0.3	9052	0	-9481	-429	24	-32461	183	365	269	9.80	177366	-177366	485.7	-659.2	3.71	1.97	-2.3	-0.2	376.12	
0.251	9122	0	-9481	-359	18	-32443	183	365	269	9.80	177270	-177270	485.4	-658.8	3.71	1.97	-2.0	-0.2	449.55	
0.25	9123	-64885	-74366	-65242	65	-32378	183	365	269	9.80	176913	-176913	484.5	-657.5	3.72	1.98	-356.5	-36.4	2.47	
0.2	9195	0	-74366	-65171	3259	-29119	183	346	269	9.80	159109	-159109	459.9	-591.3	3.91	2.20	-356.1	-36.3	2.48	
0.15	9266	0	-74366	-65099	3255	-25864	183	327	269	9.80	141324	-141324	432.5	-525.2	4.16	2.48	-355.7	-36.3	2.48	
0.1	9338	0	-74366	-65028	3251	-22613	183	308	269	9.80	123558	-123558	401.8	-459.2	4.48	2.83	-355.3	-36.3	2.48	
0.05	9409	0	-74366	-64956	3248	-19365	183	288	269	9.80	105812	-105812	367.0	-393.2	4.90	3.31	-354.9	-36.2	2.49	
0	9481	0	-74366	-64885	3244	-16121	183	269	269	9.80	88085	-88085	327.4	-327.4	5.50	3.97	-354.5	-36.2	2.49	
-0.05	9481	0	-74366	-64885	3244	-12877	183	250	250	9.80	70359	-70359	281.6	-281.6	6.39	4.62	-354.5	-36.2	2.49	
-0.1	9481	0	-74366	-64885	3244	-9633	183	231	231	9.80	52632	-52632	228.2	-228.2	7.89	5.70	-354.5	-36.2	2.49	
-0.15	9481	0	-74366	-64885	3244	-6388	183	211	211	9.80	34906	-34906	165.1	-165.1	10.90	7.87	-354.5	-36.2	2.49	
-0.2	9481	0	-74366	-64885	3244	-3144	183	192	192	9.80	17179	-17179	89.4	-89.4	20.14	14.54	-354.5	-36.2	2.49	
-0.25	9481	0	-74366	-64885	3244	100	183	173	173	9.80	-547	547	-3.2	3.2	410.78	568.77	-354.5	-36.2	2.49	
-0.251	9481	64885	-9481	0	0	100	183	173	173	9.80	-547	547	-3.2	3.2	410.78	568.77	0.0	0.0	--	
-0.3	9481	0	-9481	0	0	100	183	154	154	9.80	-547	547	-3.6	3.6	365.14	505.57	0.0	0.0	--	
-0.35	9481	0	-9481	0	0	100	183	135	135	9.80	-547	547	-4.1	4.1	319.49	442.38	0.0	0.0	--	
				uvolnění celého křídla					uvolnění pravé poloviny křídla											
				TL		-9481			RL		9481			RPL		-64885				
				TR		-9481			RR		9481			RPR		64885				
				ML		-35827														
				MR		35827														
				zrr		0.357														
				zpin		0.250														

Případ zatížení 5																			
početní zatížení v řezech							geometrie				síly do pásnic		napětí v pásnicích		faktor rezervy		kontrola stojiny		
z [m]	T z případu [N]	dT [N]	T [N]	Tsum [N]	dMb [N*m]	Mb [N*m]	he [mm]	Afu [mm ²]	Afl [mm ²]	tw [mm]	Nfu [N]	Nfl [N]	Sfu [MPa]	Sfl [MPa]	RF fu [1]	RF fl [1]	qw [N/mm]	Tw [MPa]	RF w [1]
0.357	12374	0	0	12374	0	-43944	183	365	269	1.62	240108	-240108	657.5	-892.3	2.74	1.46	67.6	41.7	2.16
0.3569	12375	-13095	-13095	-720	0	-43943	183	365	269	9.80	240108	-240108	657.5	-892.3	2.74	1.46	-3.9	-0.4	224.20
0.3	12489	0	-13095	-605	34	-43909	183	365	269	9.80	239919	-239919	657.0	-891.6	2.74	1.46	-3.3	-0.3	266.73
0.251	12588	0	-13095	-506	25	-43884	183	365	269	9.80	239784	-239784	656.6	-891.1	2.74	1.46	-2.8	-0.3	318.80
0.25	12590	-87766	-100861	-88270	88	-43796	183	365	269	9.80	239302	-239302	655.3	-889.3	2.75	1.46	-482.3	-49.2	1.83
0.2	12691	0	-100861	-88170	4408	-39387	183	346	269	9.80	215214	-215214	622.1	-799.8	2.89	1.63	-481.8	-49.2	1.83
0.15	12792	0	-100861	-88069	4403	-34984	183	327	269	9.80	191153	-191153	585.0	-710.4	3.08	1.83	-481.2	-49.1	1.83
0.1	12893	0	-100861	-87968	4398	-30586	183	308	269	9.80	167120	-167120	543.4	-621.1	3.31	2.09	-480.7	-49.0	1.83
0.05	12994	0	-100861	-87867	4393	-26192	183	288	269	9.80	143115	-143115	496.4	-531.9	3.63	2.44	-480.1	-49.0	1.84
0	13095	0	-100861	-87766	4388	-21804	183	269	269	9.80	119137	-119137	442.8	-442.8	4.07	2.94	-479.6	-48.9	1.84
-0.05	13095	0	-100861	-87766	4388	-17416	183	250	250	9.80	95159	-95159	380.9	-380.9	4.73	3.41	-479.6	-48.9	1.84
-0.1	13095	0	-100861	-87766	4388	-13027	183	231	231	9.80	71182	-71182	308.6	-308.6	5.83	4.21	-479.6	-48.9	1.84
-0.15	13095	0	-100861	-87766	4388	-8639	183	211	211	9.80	47204	-47204	223.3	-223.3	8.06	5.82	-479.6	-48.9	1.84
-0.2	13095	0	-100861	-87766	4388	-4251	183	192	192	9.80	23226	-23226	120.8	-120.8	14.90	10.76	-479.6	-48.9	1.84
-0.25	13095	0	-100861	-87766	4388	138	183	173	173	9.80	-752	752	-4.3	4.3	299.19	414.27	-479.6	-48.9	1.84
-0.251	13095	87766	-13095	0	0	138	183	173	173	9.80	-752	752	-4.3	4.3	299.19	414.27	0.0	0.0	--
-0.3	13095	0	-13095	0	0	138	183	154	154	9.80	-752	752	-4.9	4.9	265.95	368.24	0.0	0.0	--
-0.35	13095	0	-13095	0	0	138	183	135	135	9.80	-752	752	-5.6	5.6	232.71	322.21	0.0	0.0	--
uvolnění celého křídla							uvolnění pravé poloviny křídla												
TL	-13095						RL	13095			RPL	-87766							
TR	-13095						RR	13095			RPR	87766							
ML	-48558																		
MR	48558																		
zrr	0.357																		
zpin	0.250																		

Případ zatížení 6a																			
početní zatížení v řezech							geometrie				síly do pásnic		napětí v pásnicích		faktor rezervy		kontrola stojiny		
z [m]	T z případu [N]	dT [N]	T [N]	Tsum [N]	dMb [N*m]	Mb [N*m]	he [mm]	Afu [mm2]	Afl [mm2]	tw [mm]	Nfu [N]	Nfl [N]	Sfu [MPa]	Sfl [MPa]	RF fu [1]	RF fl [1]	qw [N/mm]	Tw [MPa]	RF w [1]
0.357	-9383	0	0	-9383	0	33822	183	365	269	1.62	-184801	184801	-506.1	686.8	2.57	2.62	-51.3	-31.6	2.84
0.3569	-9383	17599	17599	8216	-1	33821	183	365	269	9.80	-184797	184797	-506.0	686.8	2.57	2.62	44.9	4.6	19.65
0.3	-9487	0	17599	8111	-462	33359	183	365	269	9.80	-182275	182275	-499.1	677.4	2.60	2.66	44.3	4.5	19.90
0.251	-9577	0	17599	8021	-393	32966	183	365	269	9.80	-180127	180127	-493.3	669.4	2.64	2.69	43.8	4.5	20.12
0.25	-9579	58353	75952	66373	-66	32900	183	365	269	9.80	-179765	179765	-492.3	668.1	2.64	2.69	362.7	37.0	2.43
0.2	-9671	0	75952	66281	-3314	29586	183	346	269	9.80	-161657	161657	-467.3	600.8	2.78	3.00	362.2	37.0	2.44
0.15	-9763	0	75952	66189	-3309	26276	183	327	269	9.80	-143574	143574	-439.4	533.6	2.96	3.37	361.7	36.9	2.44
0.1	-9855	0	75952	66097	-3305	22971	183	308	269	9.80	-125516	125516	-408.2	466.5	3.19	3.86	361.2	36.9	2.44
0.05	-9947	0	75952	66005	-3300	19671	183	288	269	9.80	-107483	107483	-372.8	399.4	3.49	4.51	360.7	36.8	2.45
0	-10039	0	75952	65913	-3296	16375	183	269	269	9.80	-89476	89476	-332.5	332.5	3.91	5.41	360.2	36.8	2.45
-0.05	-10039	0	75952	65913	-3296	13080	183	250	250	9.80	-71468	71468	-286.0	286.0	4.54	6.29	360.2	36.8	2.45
-0.1	-10039	0	75952	65913	-3296	9784	183	231	231	9.80	-53461	53461	-231.8	231.8	5.61	7.77	360.2	36.8	2.45
-0.15	-10039	0	75952	65913	-3296	6488	183	211	211	9.80	-35453	35453	-167.7	167.7	7.75	10.73	360.2	36.8	2.45
-0.2	-10039	0	75952	65913	-3296	3193	183	192	192	9.80	-17446	17446	-90.8	90.8	14.32	19.83	360.2	36.8	2.45
-0.25	-10039	0	75952	65913	-3296	-103	183	173	173	9.80	562	-562	3.2	-3.2	553.97	400.09	360.2	36.8	2.45
-0.251	-10039	-65913	10039	0	0	-103	183	173	173	9.80	562	-562	3.2	-3.2	553.97	400.09	0.0	0.0	--
-0.3	-10039	0	10039	0	0	-103	183	154	154	9.80	562	-562	3.7	-3.7	492.42	355.63	0.0	0.0	--
-0.35	-10039	0	10039	0	0	-103	183	135	135	9.80	562	-562	4.2	-4.2	430.86	311.18	0.0	0.0	--

uvolnění celého křídla				uvolnění pravé poloviny křídla			
TL	11371	RL	-3811	RPL	65913		
TR	10039	RR	-17599	RPR	-58353		
ML	32427						
MR	-37349						
zrr	0.357						
zpin	0.250						

Případ zatížení 6b																			
početní zatížení v řezech							geometrie				síly do pásnic		napětí v pásnicích		faktor rezervy		kontrola stojiny		
z [m]	T z případu [N]	dT [N]	T [N]	Tsum [N]	dMb [N*m]	Mb [N*m]	he [mm]	Afu [mm ²]	Afl [mm ²]	tw [mm]	Nfu [N]	Nfl [N]	Sfu [MPa]	Sfl [MPa]	RF fu [1]	RF fl [1]	qw [N/mm]	Tw [MPa]	RF w [1]
0.357	-10674	0	0	-10674	0	28425	183	365	269	1.62	-155317	155317	-425.3	577.2	3.06	3.12	-58.3	-36.0	2.50
0.3569	-10675	3811	3811	-6864	1	28426	183	365	269	9.80	-155320	155320	-425.3	577.2	3.06	3.12	-37.5	-3.8	23.52
0.3	-10786	0	3811	-6975	397	28823	183	365	269	9.80	-157489	157489	-431.3	585.3	3.01	3.08	-38.1	-3.9	23.14
0.251	-10881	0	3811	-7070	346	29169	183	365	269	9.80	-159382	159382	-436.4	592.3	2.98	3.04	-38.6	-3.9	22.83
0.25	-10883	65913	69724	58841	-59	29111	183	365	269	9.80	-159061	159061	-435.6	591.1	2.98	3.05	321.5	32.8	2.74
0.2	-10981	0	69724	58743	-2937	26173	183	346	269	9.80	-143012	143012	-413.4	531.5	3.14	3.39	321.0	32.8	2.75
0.15	-11078	0	69724	58646	-2932	23241	183	327	269	9.80	-126990	126990	-388.7	471.9	3.34	3.81	320.4	32.7	2.75
0.1	-11176	0	69724	58548	-2927	20314	183	308	269	9.80	-110994	110994	-360.9	412.5	3.60	4.36	319.9	32.6	2.76
0.05	-11273	0	69724	58451	-2923	17391	183	288	269	9.80	-95025	95025	-329.6	353.1	3.94	5.10	319.4	32.6	2.76
0	-11371	0	69724	58353	-2918	14473	183	269	269	9.80	-79083	79083	-293.9	293.9	4.42	6.12	318.8	32.5	2.77
-0.05	-11371	0	69724	58353	-2918	11556	183	250	250	9.80	-63141	63141	-252.7	252.7	5.14	7.12	318.8	32.5	2.77
-0.1	-11371	0	69724	58353	-2918	8638	183	231	231	9.80	-47199	47199	-204.6	204.6	6.35	8.80	318.8	32.5	2.77
-0.15	-11371	0	69724	58353	-2918	5720	183	211	211	9.80	-31257	31257	-147.8	147.8	8.79	12.18	318.8	32.5	2.77
-0.2	-11371	0	69724	58353	-2918	2803	183	192	192	9.80	-15315	15315	-79.7	79.7	16.32	22.59	318.8	32.5	2.77
-0.25	-11371	0	69724	58353	-2918	-115	183	173	173	9.80	628	-628	3.6	-3.6	496.13	358.31	318.8	32.5	2.77
-0.251	-11371	-58353	11371	0	0	-115	183	173	173	9.80	628	-628	3.6	-3.6	496.13	358.31	0.0	0.0	--
-0.3	-11371	0	11371	0	0	-115	183	154	154	9.80	628	-628	4.1	-4.1	441.00	318.50	0.0	0.0	--
-0.35	-11371	0	11371	0	0	-115	183	135	135	9.80	628	-628	4.7	-4.7	385.88	278.69	0.0	0.0	--

uvolnění celého křídla			uvolnění pravé poloviny křídla		
TL	10039		RL	-17599	
TR	11371		RR	-3811	
ML	37349				
MR	-32427				
zrr	0.357				
zpin	0.250				

Případ zatížení 6c																			
početní zatížení v řezech							geometrie				síly do pásnic		napětí v pásnicích		faktor rezervy		kontrola stojiny		
z [m]	T z případu [N]	dT [N]	T [N]	Tsum [N]	dMb [N*m]	Mb [N*m]	he [mm]	Afu [mm2]	Afl [mm2]	tw [mm]	Nfu [N]	Nfl [N]	Sfu [MPa]	Sfl [MPa]	RF fu [1]	RF fl [1]	qw [N/mm]	Tw [MPa]	RF w [1]
0.357	-8860	0	0	-8860	0	31316	183	365	269	1.62	-171113	171113	-468.6	635.9	2.77	2.83	-48.4	-29.9	3.01
0.3569	-8861	10070	10070	1210	0	31316	183	365	269	9.80	-171112	171112	-468.6	635.9	2.77	2.83	6.6	0.7	133.42
0.3	-8967	0	10070	1103	-63	31253	183	365	269	9.80	-170769	170769	-467.6	634.6	2.78	2.84	6.0	0.6	146.33
0.251	-9059	0	10070	1011	-50	31204	183	365	269	9.80	-170499	170499	-466.9	633.6	2.78	2.84	5.5	0.6	159.63
0.25	-9061	61863	71934	62872	-63	31141	183	365	269	9.80	-170155	170155	-465.9	632.4	2.79	2.85	343.5	35.1	2.57
0.2	-9155	0	71934	62779	-3139	28002	183	346	269	9.80	-153004	153004	-442.3	568.6	2.94	3.17	343.0	35.0	2.57
0.15	-9249	0	71934	62685	-3134	24868	183	327	269	9.80	-135878	135878	-415.9	505.0	3.13	3.56	342.5	35.0	2.58
0.1	-9343	0	71934	62591	-3130	21738	183	308	269	9.80	-118778	118778	-386.2	441.4	3.37	4.08	342.0	34.9	2.58
0.05	-9436	0	71934	62497	-3125	18613	183	288	269	9.80	-101704	101704	-352.8	378.0	3.69	4.76	341.5	34.8	2.58
0	-9530	0	71934	62403	-3120	15493	183	269	269	9.80	-84655	84655	-314.6	314.6	4.13	5.72	341.0	34.8	2.59
-0.05	-9530	0	71934	62403	-3120	12373	183	250	250	9.80	-67607	67607	-270.6	270.6	4.80	6.65	341.0	34.8	2.59
-0.1	-9530	0	71934	62403	-3120	9253	183	231	231	9.80	-50558	50558	-219.2	219.2	5.93	8.21	341.0	34.8	2.59
-0.15	-9530	0	71934	62403	-3120	6133	183	211	211	9.80	-33509	33509	-158.5	158.5	8.20	11.36	341.0	34.8	2.59
-0.2	-9530	0	71934	62403	-3120	3013	183	192	192	9.80	-16461	16461	-85.6	85.6	15.18	21.02	341.0	34.8	2.59
-0.25	-9530	0	71934	62403	-3120	-108	183	173	173	9.80	588	-588	3.4	-3.4	529.56	382.46	341.0	34.8	2.59
-0.251	-9530	-62403	9530	0	0	-108	183	173	173	9.80	588	-588	3.4	-3.4	529.56	382.46	0.0	0.0	--
-0.3	-9530	0	9530	0	0	-108	183	154	154	9.80	588	-588	3.8	-3.8	470.72	339.97	0.0	0.0	--
-0.35	-9530	0	9530	0	0	-108	183	135	135	9.80	588	-588	4.4	-4.4	411.88	297.47	0.0	0.0	--

uvolnění celého křídla				uvolnění pravé poloviny křídla			
TL	11879	RL	-11339	RPL	62403		
TR	9530	RR	-10070	RPR	-61863		
ML	35115						
MR	-34662						
zrr	0.357						
zpin	0.250						

Případ zatížení 6d																					
početní zatížení v řezech							geometrie				síly do pásnic		napětí v pásnicích		faktor rezervy		kontrola stojiny				
z [m]	T z případu [N]	dT [N]	T [N]	Tsum [N]	dMb [N*m]	Mb [N*m]	he [mm]	Afu [mm2]	Afl [mm2]	tw [mm]	Nfu [N]	Nfl [N]	Sfu [MPa]	Sfl [MPa]	RF fu [1]	RF fl [1]	qw [N/mm]	Tw [MPa]	RF w [1]		
0.357	-11197	0	0	-11197	0	30931	183	365	269	1.62	-169005	169005	-462.8	628.1	2.81	2.87	-61.2	-37.8	2.38		
0.3569	-11197	11339	11339	142	0	30931	183	365	269	9.80	-169005	169005	-462.8	628.1	2.81	2.87	0.8	0.1	1136.01		
0.3	-11306	0	11339	33	-2	30929	183	365	269	9.80	-168995	168995	-462.8	628.0	2.81	2.87	0.2	0.0	4848.13		
0.251	-11399	0	11339	-60	3	30932	183	365	269	9.80	-169011	169011	-462.8	628.1	2.81	2.87	-0.3	0.0	2672.64		
0.25	-11401	62403	73742	62341	-62	30869	183	365	269	9.80	-168670	168670	-461.9	626.8	2.81	2.87	340.6	34.8	2.59		
0.2	-11497	0	73742	62246	-3112	27757	183	346	269	9.80	-151665	151665	-438.4	563.6	2.97	3.19	340.1	34.7	2.59		
0.15	-11592	0	73742	62150	-3107	24649	183	327	269	9.80	-134685	134685	-412.2	500.5	3.15	3.60	339.6	34.7	2.60		
0.1	-11688	0	73742	62054	-3103	21547	183	308	269	9.80	-117732	117732	-382.8	437.5	3.40	4.11	339.1	34.6	2.60		
0.05	-11784	0	73742	61959	-3098	18449	183	288	269	9.80	-100805	100805	-349.7	374.6	3.72	4.80	338.5	34.5	2.61		
0	-11879	0	73742	61863	-3093	15356	183	269	269	9.80	-83904	83904	-311.8	311.8	4.17	5.77	338.0	34.5	2.61		
-0.05	-11879	0	73742	61863	-3093	12263	183	250	250	9.80	-67003	67003	-268.2	268.2	4.85	6.71	338.0	34.5	2.61		
-0.1	-11879	0	73742	61863	-3093	9169	183	231	231	9.80	-50101	50101	-217.2	217.2	5.98	8.29	338.0	34.5	2.61		
-0.15	-11879	0	73742	61863	-3093	6076	183	211	211	9.80	-33200	33200	-157.0	157.0	8.28	11.46	338.0	34.5	2.61		
-0.2	-11879	0	73742	61863	-3093	2983	183	192	192	9.80	-16299	16299	-84.8	84.8	15.33	21.23	338.0	34.5	2.61		
-0.25	-11879	0	73742	61863	-3093	-110	183	173	173	9.80	602	-602	3.5	-3.5	517.49	373.74	338.0	34.5	2.61		
-0.251	-11879	-61863	11879	0	0	-110	183	173	173	9.80	602	-602	3.5	-3.5	517.49	373.74	0.0	0.0	--		
-0.3	-11879	0	11879	0	0	-110	183	154	154	9.80	602	-602	3.9	-3.9	459.99	332.21	0.0	0.0	--		
-0.35	-11879	0	11879	0	0	-110	183	135	135	9.80	602	-602	4.5	-4.5	402.49	290.69	0.0	0.0	--		
				uvolnění celého křídla								uvolnění pravé poloviny křídla									
				TL		9530				RL		-10070		RPL		61863					
				TR		11879				RR		-11339		RPR		-62403					
				ML		34662															
				MR		-35115															
				zrr		0.357															
				zpin		0.250															

Případ zatížení 7a																			
početní zatížení v řezech							geometrie				síly do pásnic		napětí v pásnicích		faktor rezervy		kontrola stojiny		
z [m]	T z případu [N]	dT [N]	T [N]	Tsum [N]	dMb [N*m]	Mb [N*m]	he [mm]	Afu [mm ²]	Afl [mm ²]	tw [mm]	Nfu [N]	Nfl [N]	Sfu [MPa]	Sfl [MPa]	RF fu [1]	RF fl [1]	qw [N/mm]	Tw [MPa]	RF w [1]
0.357	-9532	0	0	-9532	0	33505	183	365	269	1.62	-183072	183072	-501.3	680.4	2.59	2.65	-52.1	-32.1	2.80
0.3569	-9532	16087	16087	6555	-1	33504	183	365	269	9.80	-183069	183069	-501.3	680.4	2.59	2.65	35.8	3.7	24.63
0.3	-9636	0	16087	6451	-367	33137	183	365	269	9.80	-181063	181063	-495.8	672.9	2.62	2.67	35.2	3.6	25.02
0.251	-9726	0	16087	6361	-312	32826	183	365	269	9.80	-179360	179360	-491.2	666.6	2.65	2.70	34.8	3.5	25.38
0.25	-9728	59735	75822	66094	-66	32760	183	365	269	9.80	-178999	178999	-490.2	665.2	2.65	2.71	361.1	36.9	2.44
0.2	-9819	0	75822	66003	-3300	29460	183	346	269	9.80	-160967	160967	-465.3	598.2	2.79	3.01	360.6	36.8	2.45
0.15	-9911	0	75822	65911	-3296	26164	183	327	269	9.80	-142960	142960	-437.5	531.3	2.97	3.39	360.1	36.7	2.45
0.1	-10002	0	75822	65819	-3291	22873	183	308	269	9.80	-124978	124978	-406.4	464.5	3.20	3.88	359.6	36.7	2.45
0.05	-10094	0	75822	65728	-3286	19587	183	288	269	9.80	-107022	107022	-371.2	397.7	3.50	4.53	359.1	36.6	2.46
0	-10185	0	75822	65636	-3282	16305	183	269	269	9.80	-89090	89090	-331.1	331.1	3.93	5.44	358.6	36.6	2.46
-0.05	-10185	0	75822	65636	-3282	13023	183	250	250	9.80	-71158	71158	-284.8	284.8	4.56	6.32	358.6	36.6	2.46
-0.1	-10185	0	75822	65636	-3282	9741	183	231	231	9.80	-53226	53226	-230.8	230.8	5.63	7.80	358.6	36.6	2.46
-0.15	-10185	0	75822	65636	-3282	6459	183	211	211	9.80	-35294	35294	-166.9	166.9	7.79	10.78	358.6	36.6	2.46
-0.2	-10185	0	75822	65636	-3282	3178	183	192	192	9.80	-17362	17362	-90.3	90.3	14.39	19.93	358.6	36.6	2.46
-0.25	-10185	0	75822	65636	-3282	-104	183	173	173	9.80	570	-570	3.3	-3.3	546.44	394.65	358.6	36.6	2.46
-0.251	-10185	-65636	10185	0	0	-104	183	173	173	9.80	570	-570	3.3	-3.3	546.44	394.65	0.0	0.0	--
-0.3	-10185	0	10185	0	0	-104	183	154	154	9.80	570	-570	3.7	-3.7	485.72	350.80	0.0	0.0	--
-0.35	-10185	0	10185	0	0	-104	183	135	135	9.80	570	-570	4.2	-4.2	425.01	306.95	0.0	0.0	--
uvolnění celého křídla							uvolnění pravé poloviny křídla												
TL	11225						RL	-5324			RPL	65636							
TR	10185						RR	-16087			RPR	-59735							
ML	33244																		
MR	-37086																		
zrr	0.357																		
zpin	0.250																		

Případ zatížení 7b																			
početní zatížení v řezech							geometrie				síly do pásnic		napětí v pásnicích		faktor rezervy		kontrola stojiny		
z [m]	T z případu [N]	dT [N]	T [N]	Tsum [N]	dMb [N*m]	Mb [N*m]	he [mm]	Afu [mm2]	Afl [mm2]	tw [mm]	Nfu [N]	Nfl [N]	Sfu [MPa]	Sfl [MPa]	RF fu [1]	RF fl [1]	qw [N/mm]	Tw [MPa]	RF w [1]
0.357	-10540	0	0	-10540	0	29293	183	365	269	1.62	-160058	160058	-438.3	594.8	2.97	3.03	-57.6	-35.6	2.53
0.3569	-10540	5324	5324	-5216	1	29294	183	365	269	9.80	-160061	160061	-438.3	594.8	2.97	3.03	-28.5	-2.9	30.95
0.3	-10650	0	5324	-5325	303	29597	183	365	269	9.80	-161716	161716	-442.8	601.0	2.94	3.00	-29.1	-3.0	30.31
0.251	-10744	0	5324	-5419	266	29862	183	365	269	9.80	-163167	163167	-446.8	606.4	2.91	2.97	-29.6	-3.0	29.79
0.25	-10746	65636	70960	60215	-60	29802	183	365	269	9.80	-162838	162838	-445.9	605.2	2.92	2.97	329.0	33.6	2.68
0.2	-10841	0	70960	60119	-3006	26796	183	346	269	9.80	-146414	146414	-423.2	544.1	3.07	3.31	328.5	33.5	2.69
0.15	-10937	0	70960	60023	-3001	23795	183	327	269	9.80	-130015	130015	-397.9	483.2	3.27	3.73	328.0	33.5	2.69
0.1	-11033	0	70960	59927	-2996	20798	183	308	269	9.80	-113643	113643	-369.5	422.3	3.52	4.26	327.4	33.4	2.69
0.05	-11129	0	70960	59831	-2992	17807	183	288	269	9.80	-97297	97297	-337.5	361.6	3.85	4.98	326.9	33.4	2.70
0	-11225	0	70960	59735	-2987	14820	183	269	269	9.80	-80978	80978	-300.9	300.9	4.32	5.98	326.4	33.3	2.70
-0.05	-11225	0	70960	59735	-2987	11833	183	250	250	9.80	-64658	64658	-258.8	258.8	5.02	6.96	326.4	33.3	2.70
-0.1	-11225	0	70960	59735	-2987	8847	183	231	231	9.80	-48338	48338	-209.6	209.6	6.20	8.59	326.4	33.3	2.70
-0.15	-11225	0	70960	59735	-2987	5860	183	211	211	9.80	-32018	32018	-151.4	151.4	8.58	11.89	326.4	33.3	2.70
-0.2	-11225	0	70960	59735	-2987	2873	183	192	192	9.80	-15699	15699	-81.7	81.7	15.92	22.04	326.4	33.3	2.70
-0.25	-11225	0	70960	59735	-2987	-114	183	173	173	9.80	621	-621	3.6	-3.6	501.43	362.14	326.4	33.3	2.70
-0.251	-11225	-59735	11225	0	0	-114	183	173	173	9.80	621	-621	3.6	-3.6	501.43	362.14	0.0	0.0	--
-0.3	-11225	0	11225	0	0	-114	183	154	154	9.80	621	-621	4.0	-4.0	445.71	321.90	0.0	0.0	--
-0.35	-11225	0	11225	0	0	-114	183	135	135	9.80	621	-621	4.6	-4.6	390.00	281.67	0.0	0.0	--

uvolnění celého křídla				uvolnění pravé poloviny křídla			
TL	10185	RL	-16087	RPL	59735		
TR	11225	RR	-5324	RPR	-65636		
ML	37086						
MR	-33244						
zrr	0.357						
zpin	0.250						

Případ zatížení 7c																				
početní zatížení v řezech							geometrie				síly do pásnic		napětí v pásnicích		faktor rezervy		kontrola stojiny			
z [m]	T z případu [N]	dT [N]	T [N]	Tsum [N]	dMb [N*m]	Mb [N*m]	he [mm]	Afu [mm2]	Afl [mm2]	tw [mm]	Nfu [N]	Nfl [N]	Sfu [MPa]	Sfl [MPa]	RF fu [1]	RF fl [1]	qw [N/mm]	Tw [MPa]	RF w [1]	
0.357	-9129	0	0	-9129	0	31573	183	365	269	1.62	-172516	172516	-472.4	641.1	2.75	2.81	-49.9	-30.8	2.92	
0.3569	-9129	10281	10281	1152	0	31573	183	365	269	9.80	-172515	172515	-472.4	641.1	2.75	2.81	6.3	0.6	140.17	
0.3	-9235	0	10281	1046	-59	31513	183	365	269	9.80	-172190	172190	-471.5	639.9	2.76	2.81	5.7	0.6	154.37	
0.251	-9326	0	10281	954	-47	31467	183	365	269	9.80	-171934	171934	-470.8	639.0	2.76	2.82	5.2	0.5	169.12	
0.25	-9328	62442	72723	63395	-63	31403	183	365	269	9.80	-171588	171588	-469.9	637.7	2.77	2.82	346.4	35.3	2.55	
0.2	-9421	0	72723	63302	-3165	28238	183	346	269	9.80	-154294	154294	-446.0	573.4	2.91	3.14	345.9	35.3	2.55	
0.15	-9514	0	72723	63209	-3160	25078	183	327	269	9.80	-137025	137025	-419.4	509.2	3.10	3.53	345.4	35.2	2.55	
0.1	-9607	0	72723	63116	-3156	21922	183	308	269	9.80	-119782	119782	-389.5	445.2	3.34	4.04	344.9	35.2	2.56	
0.05	-9700	0	72723	63022	-3151	18771	183	288	269	9.80	-102564	102564	-355.8	381.2	3.65	4.72	344.4	35.1	2.56	
0	-9793	0	72723	62929	-3146	15624	183	269	269	9.80	-85372	85372	-317.3	317.3	4.10	5.67	343.8	35.1	2.57	
-0.05	-9793	0	72723	62929	-3146	12478	183	250	250	9.80	-68180	68180	-272.9	272.9	4.76	6.60	343.8	35.1	2.57	
-0.1	-9793	0	72723	62929	-3146	9331	183	231	231	9.80	-50987	50987	-221.1	221.1	5.88	8.14	343.8	35.1	2.57	
-0.15	-9793	0	72723	62929	-3146	6185	183	211	211	9.80	-33795	33795	-159.8	159.8	8.13	11.26	343.8	35.1	2.57	
-0.2	-9793	0	72723	62929	-3146	3039	183	192	192	9.80	-16603	16603	-86.4	86.4	15.05	20.84	343.8	35.1	2.57	
-0.25	-9793	0	72723	62929	-3146	-108	183	173	173	9.80	590	-590	3.4	-3.4	527.87	381.24	343.8	35.1	2.57	
-0.251	-9793	-62929	9793	0	0	-108	183	173	173	9.80	590	-590	3.4	-3.4	527.87	381.24	0.0	0.0	--	
-0.3	-9793	0	9793	0	0	-108	183	154	154	9.80	590	-590	3.8	-3.8	469.22	338.88	0.0	0.0	--	
-0.35	-9793	0	9793	0	0	-108	183	135	135	9.80	590	-590	4.4	-4.4	410.56	296.52	0.0	0.0	--	
				uvolnění celého křídla										uvolnění pravé poloviny křídla						
				TL		11617			RL		-11130			RPL		62929				
				TR		9793			RR		-10281			RPR		-62442				
				ML		35316														
				MR		-35013														
				zrr		0.357														
				zpin		0.250														

Případ zatížení 7d																			
početní zatížení v řezech							geometrie				síly do pásnic		napětí v pásnicích		faktor rezervy		kontrola stojiny		
z [m]	T z případu [N]	dT [N]	T [N]	Tsum [N]	dMb [N*m]	Mb [N*m]	he [mm]	Afu [mm2]	Afl [mm2]	tw [mm]	Nfu [N]	Nfl [N]	Sfu [MPa]	Sfl [MPa]	RF fu [1]	RF fl [1]	qw [N/mm]	Tw [MPa]	RF w [1]
0.357	-10943	0	0	-10943	0	31225	183	365	269	1.62	-170615	170615	-467.2	634.1	2.78	2.84	-59.8	-36.9	2.44
0.3569	-10943	11130	11130	187	0	31225	183	365	269	9.80	-170614	170614	-467.2	634.1	2.78	2.84	1.0	0.1	863.15
0.3	-11051	0	11130	80	-5	31221	183	365	269	9.80	-170590	170590	-467.1	634.0	2.78	2.84	0.4	0.0	2030.19
0.251	-11143	0	11130	-13	1	31221	183	365	269	9.80	-170593	170593	-467.1	634.0	2.78	2.84	-0.1	0.0	#####
0.25	-11145	62929	74059	62914	-63	31158	183	365	269	9.80	-170249	170249	-466.2	632.7	2.79	2.84	343.8	35.1	2.57
0.2	-11240	0	74059	62820	-3141	28017	183	346	269	9.80	-153087	153087	-442.5	568.9	2.94	3.16	343.2	35.0	2.57
0.15	-11334	0	74059	62725	-3136	24881	183	327	269	9.80	-135950	135950	-416.1	505.2	3.12	3.56	342.7	35.0	2.57
0.1	-11428	0	74059	62631	-3132	21749	183	308	269	9.80	-118840	118840	-386.4	441.7	3.36	4.08	342.2	34.9	2.58
0.05	-11523	0	74059	62537	-3127	18623	183	288	269	9.80	-101754	101754	-352.9	378.2	3.68	4.76	341.7	34.9	2.58
0	-11617	0	74059	62442	-3122	15501	183	269	269	9.80	-84695	84695	-314.8	314.8	4.13	5.72	341.2	34.8	2.59
-0.05	-11617	0	74059	62442	-3122	12378	183	250	250	9.80	-67636	67636	-270.7	270.7	4.80	6.65	341.2	34.8	2.59
-0.1	-11617	0	74059	62442	-3122	9256	183	231	231	9.80	-50577	50577	-219.3	219.3	5.93	8.21	341.2	34.8	2.59
-0.15	-11617	0	74059	62442	-3122	6134	183	211	211	9.80	-33518	33518	-158.5	158.5	8.20	11.35	341.2	34.8	2.59
-0.2	-11617	0	74059	62442	-3122	3012	183	192	192	9.80	-16458	16458	-85.6	85.6	15.18	21.02	341.2	34.8	2.59
-0.25	-11617	0	74059	62442	-3122	-110	183	173	173	9.80	601	-601	3.5	-3.5	518.16	374.22	341.2	34.8	2.59
-0.251	-11617	-62442	11617	0	0	-110	183	173	173	9.80	601	-601	3.5	-3.5	518.16	374.22	0.0	0.0	--
-0.3	-11617	0	11617	0	0	-110	183	154	154	9.80	601	-601	3.9	-3.9	460.58	332.64	0.0	0.0	--
-0.35	-11617	0	11617	0	0	-110	183	135	135	9.80	601	-601	4.5	-4.5	403.01	291.06	0.0	0.0	--

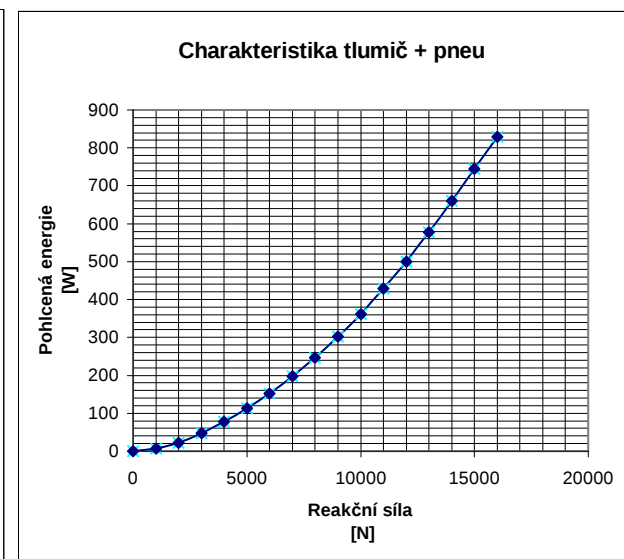
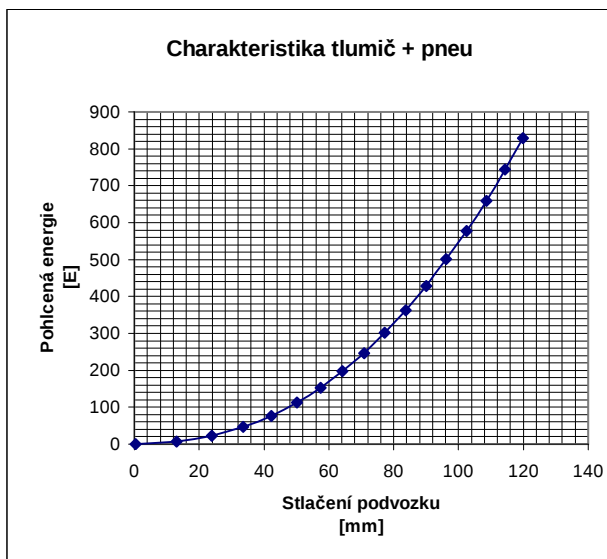
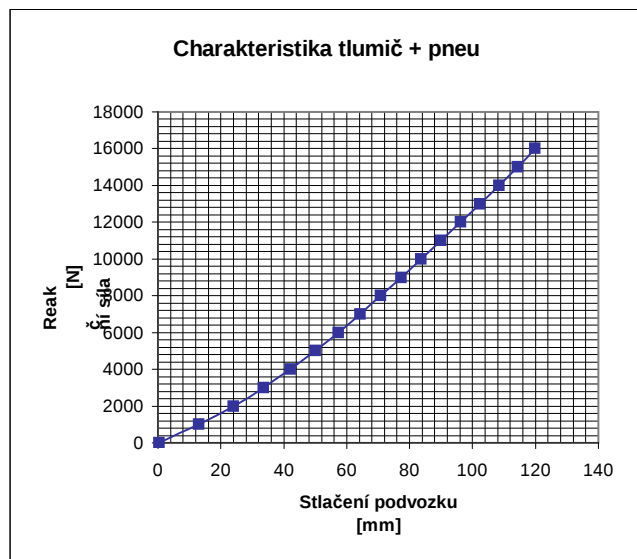
uvolnění celého křídla			uvolnění pravé poloviny křídla			
TL	9793		RL	-10281	RPL	62442
TR	11617		RR	-11130	RPR	-62929
ML	35013					
MR	-35316					
zrr	0.357					
zpin	0.250					

Hmotnostní rozbor TST-14 MC Bonus								
Skupina	Položka	m [kg]	X [mm]	Y [mm]	$m_i \cdot X_i$ [kg*mm]	$m_i \cdot Y_i$ [kg*mm]	$r_0 = (X_i^2 + Y_i^2)^{1/2}$ [mm]	$J_{z0} = m_i \cdot r_0^2$ [kg*mm ²]
Výstroj	Přístrojová deska 1	3	795	-200	2385	-600	820	2.0161E+06
	Přístrojová deska 2	3	2058	-200	6174	-600	2068	1.2826E+07
	Radiostanice	1	795	-380	795	-380	881	7.7643E+05
	Baterie	4.5	3528	-200	15876	-900	3534	5.6191E+07
Σ		11.5						
Pohonná soustava	Motor zasunut	54	3603	-100	194562	-5400	3604	7.0155E+08
	Vrtule	1.6	3650	200	5840	320	3655	2.1380E+07
	Nádrž	1.1	3010	-400	3311	-440	3036	1.0142E+07
Σ		56.7						
Konstrukce draku	Křídlo s řízením komplet	85	2900	100	246500	8500	2902	7.1570E+08
	Trup s řízením	84	3360	-200	282240	-16800	3366	9.5169E+08
	Kabina přední	6	1333	0	7998	0	1333	1.0661E+07
	Kabina zadní	5	2355	100	11775	500	2357	2.7780E+07
	Padák BRS	12	4200	-100	50400	-1200	4201	2.1180E+08
	SOP - kormidlo	1.6	8038	500	12860.8	800	8054	1.0378E+08
	VOP	6.5	7806	1300	50739	8450	7914	4.0705E+08
	Hlavní podvozek	9.6	2890	-600	27744	-5760	2952	8.3636E+07
	Přídový podvozek	3.3	1822	-600	6012.6	-1980	1918	1.2143E+07
	Ostruha	1.1	7680	-100	8448	-110	7681	6.4892E+07
Σ		214.1						
Užitečná zátěž	Pilot 1 (90kg)	90	1360	-300	122400	-27000	1393	1.7456E+08
	Pilot 2 (90kg)	90	2595	-250	233550	-22500	2607	6.1169E+08
	Palivo	10	3010	-400	30100	-4000	3036	9.2201E+07
Σ		190						
ΣΣ		472.3			1319710	-69100		4.2725E+09

X_{CG} [mm]	Y_{CG} [mm]	$r_{0 CG}$ [mm]	$J_z CG$ [kg*mm ²]
2794.22	-146.31	2798	5.7479E+08

$i_z CG$ [m]
1.103

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
R_i [N]	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000	15000	16000
h_{pi} [mm]	0.4	10.6	19.1	26.3	32.5	37.9	42.7	47.0	51.1	55.0	58.8	62.5	66.2	69.8	73.3	76.5	79.3
b_i [mm]	448.0	445.2	442.3	439.5	436.6	433.7	430.9	428.0	425.0	422.1	419.2	416.3	413.3	410.4	407.4	404.5	401.5
α_i [rad]	0.4929	0.4929	0.4964	0.4998	0.5031	0.5064	0.5096	0.5127	0.5158	0.5188	0.5218	0.5247	0.5275	0.5302	0.5329	0.5355	0.5380
θ_i [rad]	0.5572	0.5572	0.5537	0.5503	0.5470	0.5437	0.5405	0.5373	0.5343	0.5312	0.5283	0.5254	0.5226	0.5199	0.5172	0.5146	0.5121
$\cos(\theta_i)$ [1]	0.8488	0.8488	0.8506	0.8524	0.8541	0.8558	0.8575	0.8591	0.8606	0.8622	0.8637	0.8651	0.8665	0.8679	0.8692	0.8705	0.8717
$P_{ai} = R_i \cdot \cos(\theta_i)$ [N]	0.0	848.8	1701.2	2557.1	3416.4	4279.0	5144.7	6013.5	6885.2	7759.6	8636.7	9516.3	10398.3	11282.5	12168.9	13057.3	13947.6
L_{ai} [mm]	0.0	2.8	5.7	8.5	11.4	14.3	17.1	20.0	23.0	25.9	28.8	31.7	34.7	37.6	40.6	43.5	46.5
$h_{ai} = L_{ai} \cdot \cos(\theta_i)$ [mm]	0.0	2.4	4.8	7.3	9.7	12.2	14.7	17.2	19.8	22.3	24.9	27.4	30.0	32.6	35.3	37.9	40.5
$h_i = h_{pi} + h_{ai}$ [mm]	0.4	13.0	23.9	33.6	42.2	50.1	57.4	64.2	70.9	77.3	83.7	90.0	96.2	102.4	108.5	114.4	119.8
$dE = (R_i + R_{i-1})/2 \cdot (h_i - h_{i-1})$ [J]	0.0	6.3	16.4	24.1	30.2	35.4	40.1	44.7	49.6	54.8	60.4	66.3	72.1	77.5	81.9	84.7	85.2
E [J]	0.0	6.3	22.7	46.8	77.1	112.4	152.5	197.2	246.8	301.6	362.0	428.3	500.4	577.9	659.8	744.5	829.6



Zatížení hlavního podvozku		
svislá složka přist. rychlosti	Vv	1.5 [m/s]
hmotnost letounu	m	472 [kg]
energie svislé složky přist. rychlosti	A	531 [J]
Reakční síla	R	12395.2 [N]
výsledné zrychlení v těžišti letounu	av	26.261 [m*s ⁻²]
násobek v těžišti	n	3.68 [1]
Svislá složka zatížení	FV	12395.2 [N]
Vodorovná složka zatížení	FH	5978.8 [N]

Boční zatížení hlavního podvozku		
svislá složka zatížení	FV	6197.6 [N]
boční složka zatížení	FS	3718.56 [N]

Zatížení předového podvozku		
svislá složka zatížení	FV	3704.26 [N]
vodorovná složka zatížení	FH	1786.74 [N]

Zatížení zadového podvozku		
poloměr setrvačnosti okolo tezistní osy z	iz	1.10317 [m]
vzd. zadového podvozku od těžiště	L	4.79 [m]
Svislé zatížení od přistání na ostruhu	F	932.916 [N]
Boční síla na zadový podvozek od zatížení konce křídla	FS	177.453 [N]

Boční zatížení předového kola - síla na konec křídla		
vzdálenost předového a hlavního podvozku	L	1.068 [m]
rozpětí křídla	I	17 [m]
Boční síla na konec křídla	F	200 [N]
boční síla na podvozek	FS	1591.76 [N]

