

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

VÝPOČET ZATÍŽENÍ A PEVNOSTNÍ KONTROLA
KŘÍDLA A OCASNÍCH PLOCH LETOUNU MERMAID
LOAD CALCULATION AND STRESS ANALYSIS OF WING AND TAIL UNIT OF
MERMAID AIRCRAFT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN SVĚTLÍK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing., IVO JEBÁČEK, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2007/08

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Světlík Martin

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

obor: **Letadlová technika (2301T004)**

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:

Výpočet zatížení a pevnostní kontrola křídla a ocasních ploch letounu Mermaid

v anglickém jazyce:

Load Calculation and Stress Analysis of Wing and Tail Unit of Mermaid Aircraft

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Letoun typu Mermaid je dvoumístný celokovový obojživelný středoplošník se sedadly vedle sebe a zatahovacím podvozkem příďového typu. Je stavěn podle mezinárodního stavebního předpisu ASTM F2245-04 pro maximální vzletovou hmotnost 650kg.

Zpracujte projekt pevnosti křídla a proveďte:

- výpočet případů zatížení,
- výpočet zatížení křídélka,
- výpočet zatížení vztlakové klapky,
- pevnostní kontrolu křídla,
- výpočet zatížení ocasních ploch.

Cíle diplomové práce:

Cílem diplomové práce je navrhnout křídlo, zpracovat výkresovou dokumentaci pro letoun Mermaid a provést jeho pevnostní kontrolu. V práci budou zahrnuty i základní letové výkony a vlastnosti.

Seznam odborné literatury:

Čalkovský, A., Pávek, J.: Konstrukce a pevnost letadel I., Brno, 1986

Píštěk, A., Grégr, O., Kahánek, V., Böhm, R.: Pevnost a životnost letadel, Brno, 1987

Vedoucí diplomové práce: Ing. Ivo Jebáček, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.

V Brně, dne 26.11.2007



prof. Ing. Antonín Píštěk, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Obojživelný celokovový letoun Mermaid je produktem firmy Czech Aircraft Works v Kunovicích.

Tématem této diplomové práce bylo do výpočtů konstrukce letounu zahrnout změny, kterými prošel během vývoje.

V rámci práce bylo zpracováno:

- Výpočet zatížení křídla
- Pevnostní kontrola křídla
- Výpočet zatížení křídélka
- Výpočet zatížení vztlakové klapky
- Výpočet zatížení vodorovných ocasních ploch

SUMMARY

The amphibious fullmetal plane Mermaid is made by company Czech Aircraft Works in Kunovice.

Subject of this diploma thesis was involve changes of structure, which pass through during development, to calculation.

Within this published work was process:

- Load calculation of wing
- Stress analysis of wing
- Load calculation of aileron
- Load calculation of flap
- Load calculation of horizontail tail

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že jsem byl seznámen s předpisy pro vypracování diplomové práce a že jsem celou diplomovou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Brně dne 23.5.2008

.....

Jméno

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi nechali otevřené dveře a byli nápomocni při sestavování téhle práce.

OBSAH

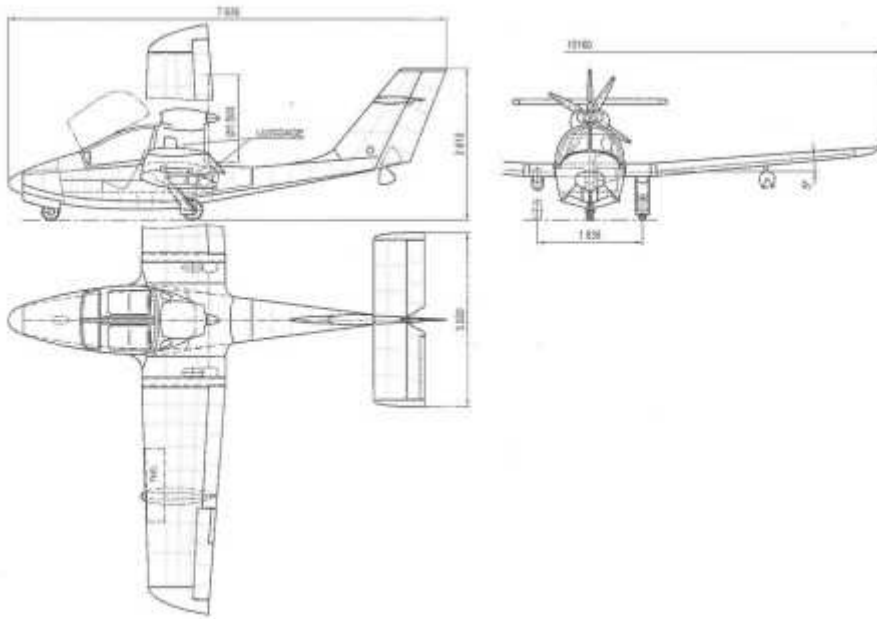
1. ÚVOD	8
1.1 POPIS LETOUNU	8
1.2 ZÁKLADNÍ ÚDAJE LETOUNU	9
1.3 ZÁKLADNÍ VÝKONY LETOUNU	9
1.4 AERODYNAMICKÉ PODKLADY	9
2. VÝPOČET ZATÍŽENÍ KŘÍDLA	10
2.1 POPIS KŘÍDLA	10
2.2 VÝPOČET LETOVÉ OBÁLKY	10
2.3 PŘÍPADY ZATÍŽENÍ	13
2.4 PRŮBĚH ZATÍŽENÍ PO ROZPĚTÍ	14
2.4.1 Vzdušné zatížení	14
2.4.2 Zatížení od setrvačných sil	18
2.4.3 Výsledné zatížení křídla	20
2.4.4 Početní zatížení	20
2.4.5 Definice rozhodujících případů	21
3. PEVNOSTNÍ KONTROLA KŘÍDLA	21
3.1 DEFINICE KONTROLOVANÝCH ŘEZŮ	21
3.2 POMOCNÉ MODEL Y	21
3.3 PEVNOSTNÍ KONTROLA V KOŘENOVÉM ŘEZU	23
3.3.1 Průřezové charakteristiky	23
3.3.2 Kontrola potahu	24
3.3.3 Kontrola stojiny	26
3.3.4 Kontrola pásnic	27
3.3.5 Kontrola závěsů	29
3.4 TABULKA SOUČINITELŮ BEZPEČNOSTI PRO VŠECHNY ŘEZY	32
3.4.5 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	32
4. VÝPOČET ZATÍŽENÍ KŘIDÉLKA	33
4.1 POPIS KŘIDÉLKA	33
4.2 MODEL KŘIDÉLKA	33
4.3 LINIOVÉ ZATÍŽENÍ KŘIDÉLKA	34
4.4 REAKCE V ZÁVĚSECH	36
4.5 PRŮBĚH POSOUVAJÍCÍ SÍLY A OHYBOVÉHO MOMENTU	37
4.6 ZÁVĚSOVÝ MOMENT KŘIDÉLKA A REAKCE V OVLÁDACÍM TÁHLE	39
4.7 PRŮBĚH KROUTÍCÍHO MOMENTU	40
5. VÝPOČET ZATÍŽENÍ VZTLAKOVÉ KLAPKY	41
5.1 POPIS VZTLAKOVÉ KLAPKY	41
5.2 MODEL KLAPKY	41
5.3 LINIOVÉ ZATÍŽENÍ KLAPKY	41
5.4 REAKCE V ZÁVĚSECH	43
5.5 PRŮBĚH POSOUVAJÍCÍ SÍLY A OHYBOVÉHO MOMENTU	44
5.6 ZÁVĚSOVÝ MOMENT KLAPKY A REAKCE V OVLÁDACÍM TÁHLE	46
5.7 PRŮBĚH KROUTÍCÍHO MOMENTU	47
5.8 SOUHRN VÝSLEDKŮ PRO ZATÍŽENÍ DOLŮ	48

6. VÝPOČET ZATÍŽENÍ VODOROVNÝCH OCASNÍCH PLOCH.....	51
6.1 POPIS VODOROVNÝCH OCASNÍCH PLOCH	51
6.2 LINIOVÉ ZATÍŽENÍ VOP	51
6.3 POSOUVAJÍCÍ SÍLA A OHYBOVÝ MOMENT PRO CELOU VOP.....	52
6.4 REAKCE V ZÁVĚSECH VÝŠKOVÉHO KORMIDLA.....	53
6.5 PRŮBĚH POSOUVAJÍCÍ SÍLY A OHYBOVÉHO MOMENTU VÝŠKOVÉHO KORMIDLA.....	54
6.6 ZÁVĚSOVÝ MOMENT VÝŠKOVÉHO KORMIDLA A REAKCE V OVLÁDACÍM TÁHLE	55
6.7 PRŮBĚH KROUTÍCÍHO MOMENTU	56
6.8 SOUHRN VÝSLEDKŮ PRO NESYMETRICKÉ ZATÍŽENÍ	57
6.8.1 100 % zatížení na jedné straně.....	57
6.8.2 65 % zatížení na druhé straně	61
7. ZÁVĚR	64
8. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	65
9. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	66
10. SEZNAM PŘÍLOH	67

1. ÚVOD

1.1 POPIS LETOUNU

Letoun typu Mermaid je dvoumístný celokovový obojživelný středoplošník se sedadly vedle sebe a zatahovacím podvozkem předového typu. Je stavěn podle mezinárodního stavebního předpisu ASTM F2245-04 pro maximální vzletovou hmotnost 650kg firmou Czech Aircraft Works v Kunovicích. Letoun má tlačné uspořádání motoru, na výběr jsou dvě pohonné jednotky: Jabiru 3300 nebo Rotax 912 ULS.



1.2 ZÁKLADNÍ ÚDAJE LETOUNU

Rozpětí křídla	9,5 m	31,2 ft
Délka	7,62 m	25 ft
Plocha křídla	12,38 m ²	133,26 sq. ft
Zatížení křídla	45,6 kg/m ²	10,65 lb/sf
Prázdná hmotnost	420 kg	925 lb
Maximální vzletová hmotnost	650 kg	1433 lb
Užitečné zatížení	230 kg	505 lb
Šířka kabiny	1,17 m	46 inch
Zásoba paliva	2 x 57 l	2 x 15 U.S. gal
Zavazadlový prostor	450 dm ³	16 cu. ft
Maximální provozní násobek	+4/-2 G	

1.3 ZÁKLADNÍ VÝKONY LETOUNU

Platí pro pohonnou jednotku Jabiru 3300.

Délka vzletu (tráva)	137 m	450 ft
Stoupací rychlost	4,6 m/s	910 fpm
Minimální rychlost letu	82 km/h	44 knots
Cestovní rychlost (75 % výkonu)	190 km/h	118 mph
Nepřekročitelná rychlost (V _{NE})	250 km/h	155 mph
Dolet (75% výkonu)	1000 km	620 sm
Výdrž	4 h	
Délka dojezdu (tráva)	132 m	434 ft

1.4 AERODYNAMICKÉ PODKLADY

Kořenový profil	LS (1) - 417
Hloubka kořenové tětiny	1,450 m
Koncový profil	MS (1) - 313
Hloubka koncové tětiny	1,050 m
Rozpětí křídla	9,5 m
Plocha křídla	12,38 m ²
Plocha centroplánu	3,19 m ²
Plocha vnějšího křídla	9,19 m ²
Zúžení křídla	0,724
Štíhlost křídla	7,3
Maximální součinitel vztlaku křídla	1,59
Součinitel vztlaku se vztlakovými klapkami	2,05
Sklon vztlakové čáry křídla	4,5055 rad ⁻¹
Úhel nulového vztlaku křídla	-3,1°
Výchyly křidélek nahoru/dolů	-30/+15°
Výchyly klapky	35°

2. VÝPOČET ZATÍŽENÍ KŘÍDLA

2.1 POPIS KŘÍDLA

Celokovové křídlo je jednonosníkové, dvoudutinové s pomocným zadním nosníkem. K centroplánu je uchyceno pomocí závěsů v místě nosníků. Hlavní nosník je složen z několika profilů, které jsou postupně vypouštěny. Materiálem nosníku je 6061 – T6. Zadní nosník spolu s hlavním nosníkem slouží pro přenesení tečného momentu dvojicí sil. Potah je ze stejného materiálu, tloušťka potahu je 0,5 mm u přední dutiny a 0,65 mm u zadní. Výkresy křídla a nosníku lze nalézt v přílohách.

2.2 VÝPOČET LETOVÉ OBÁLKY

- Kladný provozní násobek
 $n_1 = 4$
- Záporný provozní násobek
 $n_2 = -0,5 \cdot n_1 = -0,5 \cdot 4 = -2$
- Kladný provozní poryvový násobek při rychlosti v_C

pozn. rychlost v_C je stanovena dále

Při stanovení násobku n_3 vycházíme z grafu:

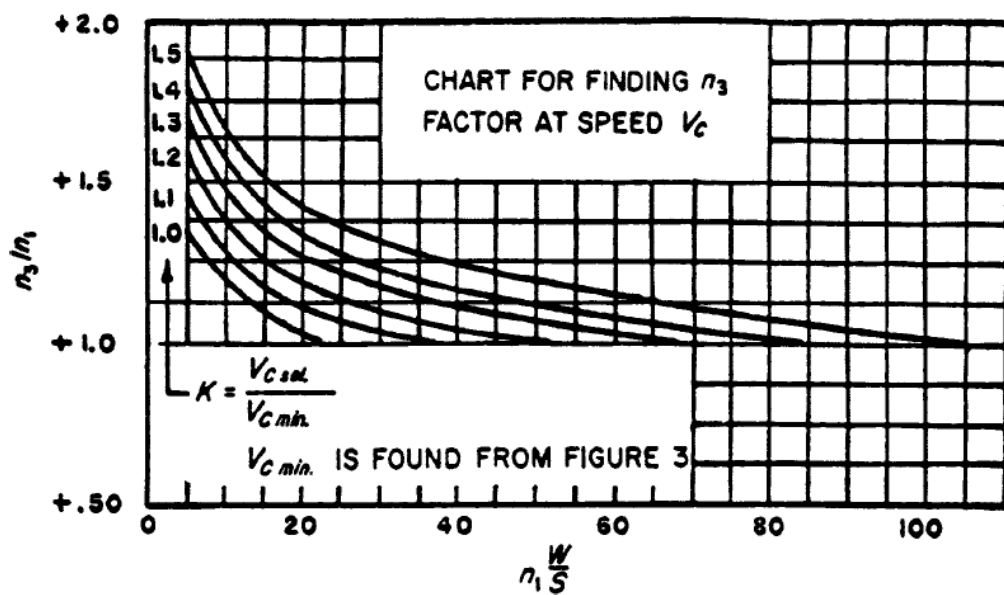


FIG. X1.2

$$n_1 \cdot \frac{W}{S} = 4 \cdot \frac{1433[lb]}{133,26[sq.ft]} = 43$$

$$K = \frac{v_{C\ sel.}}{v_{C\ min.}} = \frac{113,39[knots]}{111,49[knots]} = 1,02$$

$$\Rightarrow \frac{n_3}{n_1} = 1 \Rightarrow n_3 = 1$$

- Záporný provozní poryvový násobek při rychlosti v_C

Stanovení násobku n_4 je obdobné jako u n_3 , vycházíme z grafu:

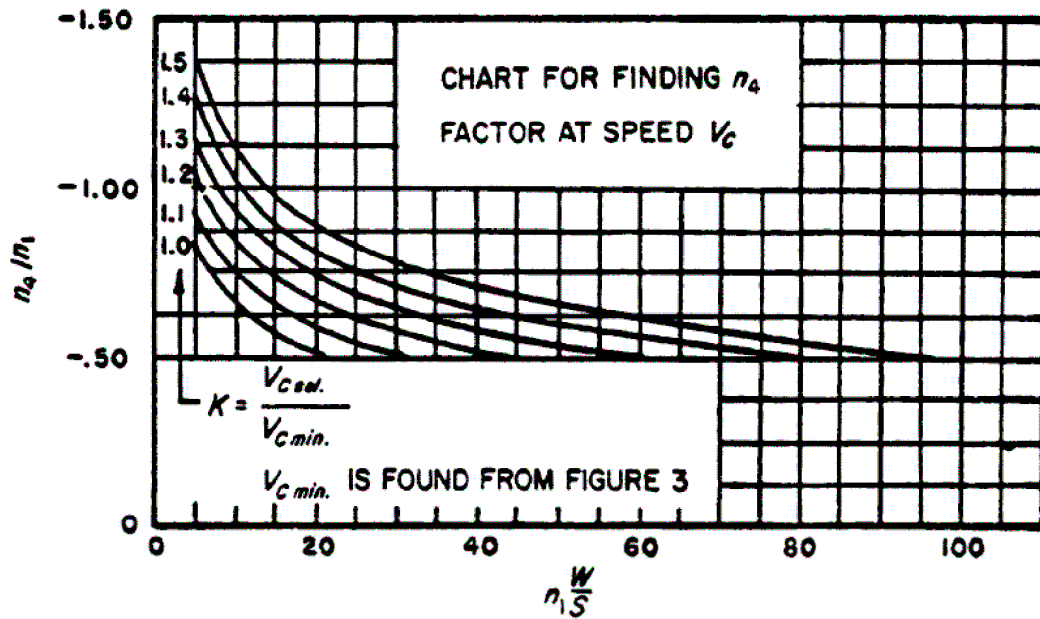


FIG. X1.3

$$\Rightarrow \frac{n_4}{n_1} = -0,5 \Rightarrow n_4 = -2$$

- Minimální rychlost se vztlakovými klapkami

$$v_{F \min} = 11 \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot W}{S}} = 11 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 1433}{133,26}} = 72,14 \text{ knots} = 133,69 \text{ km/h}$$

volím:

$$v_F = 140 \text{ km/h}$$

- Minimální obratová rychlost

$$v_{A \min} = 15 \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot W}{S}} = 15 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 1433}{133,26}} = 98,38 \text{ knots} = 182,32 \text{ km/h}$$

Předpis umožňuje určit rychlost v_A pomocí maximálního součinitele vztlaku c_{NA} , takto získaná rychlost může být menší než $v_{A \min}$.

Obratová rychlost s využitím c_{NA} :

$$v_A = \sqrt{\frac{2 \cdot n_1 \cdot m \cdot g}{c_{NA} \cdot \rho \cdot S}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4 \cdot 650 \cdot 9,81}{1,59 \cdot 1,225 \cdot 12,38}} = 46 \text{ m/s} = 166 \text{ km/h}$$

- Obratová rychlost při letu na zádech

minimální součinitel vztlaku dle předpisu: $c_{NA} = -1,35$

$$v_G = \sqrt{\frac{2 \cdot |n_2| \cdot m \cdot g}{\rho \cdot |c_{NA}| \cdot S}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2 \cdot 650 \cdot 9,81}{1,225 \cdot 1,35 \cdot 12,38}} = 35,3 \text{ m/s} = 127 \text{ km/h}$$

- Minimální návrhová cestovní rychlost

$$v_{C \min} = 17 \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot W}{S}} = 17 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 1433}{133,26}} = 111,49 \text{ knots} = 206,61 \text{ km/h}$$

$$v_{C \min} \leq 0,9 \cdot v_H = 0,9 \cdot 250 = 225 \text{ km/h}$$

$$v_H \leq v_{NE} = 250 \text{ km/h}$$

volím:

$$v_C = 210 \text{ km/h}$$

- Minimální rychlost střemhlavého letu

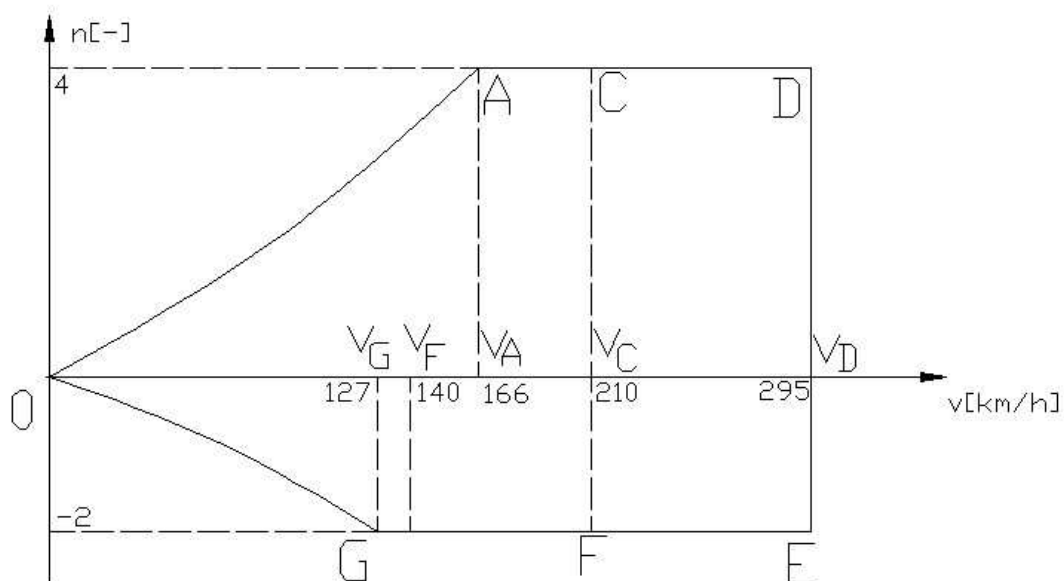
$$v_{D \min} = 24 \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot W}{S}} = 24 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 1433}{133,26}} = 157,4 \text{ knots} = 291,7 \text{ km/h}$$

$$v_{D \min} \leq 1,4 \cdot \sqrt{\frac{n_1}{3,8}} \cdot v_{C \min} = 1,4 \cdot \sqrt{\frac{4}{3,8}} \cdot 111,49 = 160,14 \text{ knots} = 296,6 \text{ km/h}$$

volím:

$$v_D = 295 \text{ km/h}$$

- Grafické znázornění



2.3 PŘÍPADY ZATÍŽENÍ

Předpis ASTM F2245-04 stanovuje následující případy zatížení pro křídlo letounu:

A) Symetrické případy

- Bod A obálky
 - normální zatížení nahoru, $n = 4$
 - tečné zatížení dopředu, $n = 1$
- Bod D obálky
 - normální zatížení nahoru, $n = 4$
 - tečné zatížení dozadu, $n = -1/5$
- Bod G obálky
 - normální zatížení dolů, $n = -2$
 - tečné zatížení dopředu, $n = 0,4$
- S vysunutými klapkami (rychlost v_F)
 - normální zatížení nahoru, $n = 2$
 - tečné zatížení dopředu, $n = 1$

B) Nesymetrické případy

- Předpoklad 100% zatížení bodu A obálky na jedné straně křídla a 75% zatížení na druhé straně křídla
- Předpoklad 75% zatížení bodu A obálky na každé straně křídla a torzní zatížení od plné výchylky křídélka
- Předpoklad 75% zatížení bodu D obálky na každé straně křídla a torzní zatížení křídélka vychýleného na 1/3 plné výchylky

Dále bylo zatížení počítáno v těchto případech:

A) Symetrické zatížení

- Kladný obratový případ bodu A obálky, $n = 4$
- Kladný obratový případ bodu C obálky, $n = 4$
- Kladný obratový případ bodu D obálky, $n = 4$
- Záporný obratový případ bodu G obálky, $n = -2$
- Záporný obratový případ bodu C obálky, $n = -2$
- Záporný obratový případ bodu D obálky, $n = -2$

B) Nesymetrické případy zatížení

- Kladný křídélkový případ bodu A obálky, $n = 2/3n_1$, plná výchylka dolů a nahoru
- Kladný křídélkový případ bodu C obálky, $n = 2/3n_1$, taková výchylka dolů a nahoru, aby úhlová rychlost klonění při v_C byla stejná jako při v_A
- Kladný křídélkový případ bodu D obálky, $n = 2/3n_1$, taková výchylka dolů a nahoru, aby úhlová rychlost klonění při v_D byla 1/3 úhlové rychlosti při v_A

(tyto dále uváděné případy zatížení se příliš neliší od případů uváděných předpisem a slouží pouze pro srovnání dvou různých metodik)

2.4 PRŮBĚH ZATÍŽENÍ PO ROZPĚTÍ

2.4.1 Vzdušné zatížení

A) Rozložení vzlaku

Ze silové rovnováhy se určí součinitel vzlaku křídla pro jednotlivý případ:

$$L = n \cdot G$$

$$c_{L,KR} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S = n \cdot G \Rightarrow c_{L,KR}$$

$$c_{L,KR} = \frac{n \cdot G}{\rho \cdot \frac{v^2}{2} \cdot S}$$

Rozložení vzlaku po rozpětí křídla je dáno:

- pro symetrické případy

$$c_L(y) = c_{L_n}(y) \cdot c_{L,KR} + c_{L_0}(y)$$

- pro nesymetrické případy (počátek klonění)

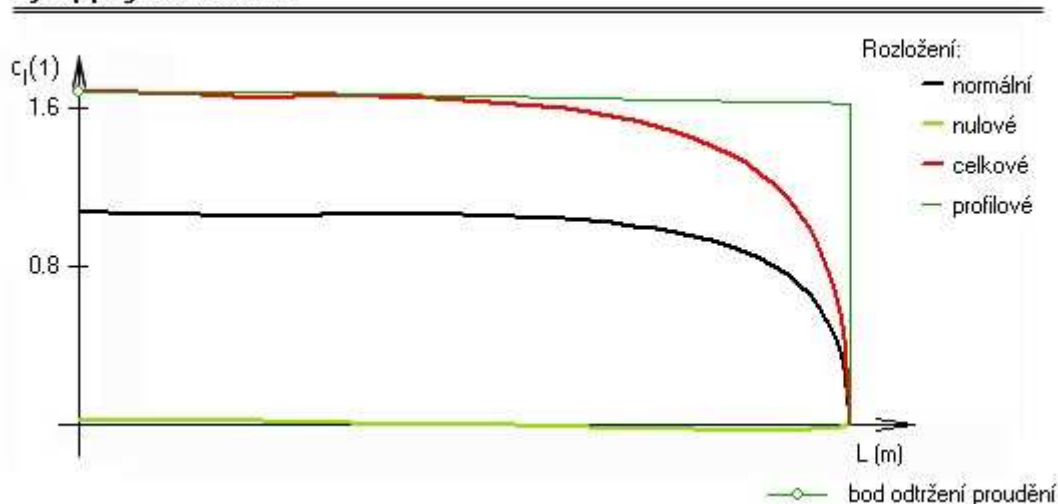
$$c_L(y) = c_{L_n}(y) \cdot c_{L,KR} + c_{L_0}(y) + c_{L,kr\text{sym}}(y) + c_{L,kr\text{anti}}(y)$$

- pro klapkové případy

$$c_L(y) = c_{L_n}(y) \cdot c_{L,KR} + c_{L_0}(y) + c_{L,kl}(y)$$

Přičemž průběhy normálního $c_{L_n}(y)$, nulového $c_{L_0}(y)$, křídélkového symetrického $c_{L,kr\text{sym}}(y)$, křídélkového antisymetrického $c_{L,kr\text{anti}}(y)$ a klapkového rozložení $c_{L,kl}(y)$ byly získány v programu Glauert III pro zadané parametry – zde např. průběhy pro symetrické případy:

Výstup programu Glauert III

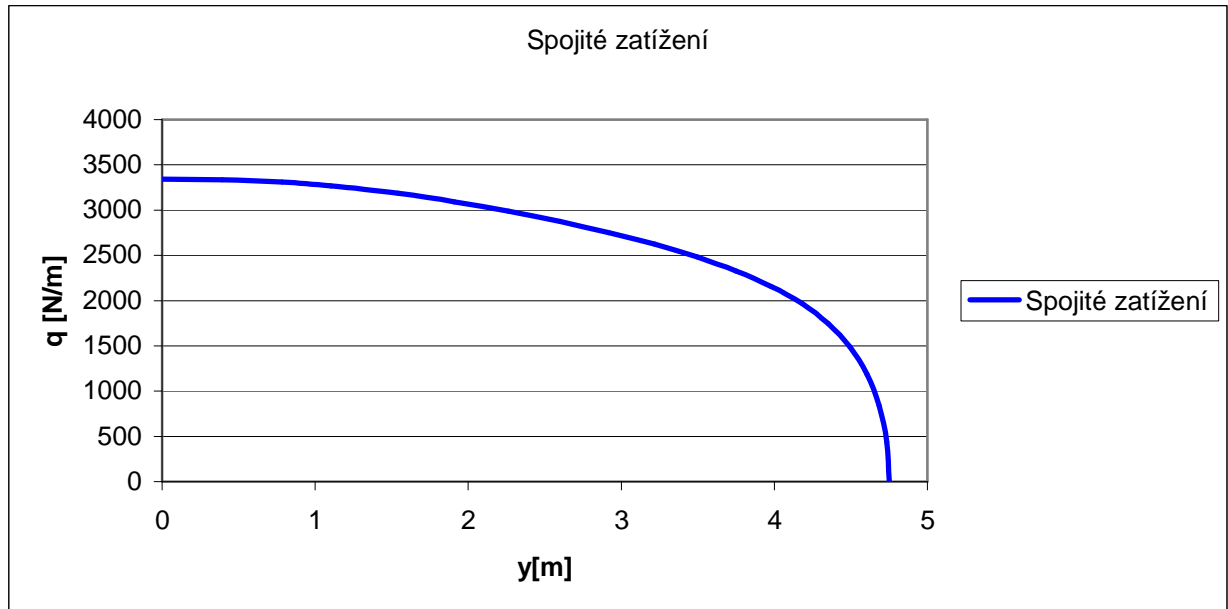


B) Spojité zatížení

Spojité zatížení je určeno:

$$q(y) = c_L(y) \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \cdot c(y)$$

Průběh spojitého zatížení pro bod A obálky (normální zatížení nahoru, $n = 4$; tečné zatížení dopředu, $n = 1$)

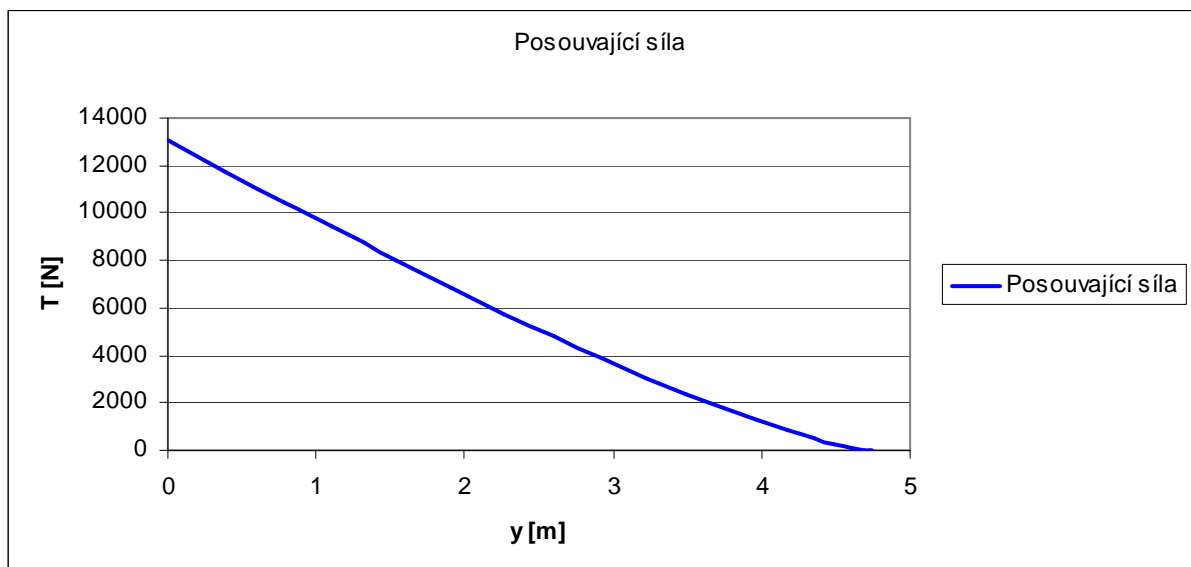


C) Posouvající síla

Posouvající síla se získá integrací spojitého zatížení po rozpětí:

$$T(y) = \int q(y) dy$$

Průběh posouvající síly pro bod A obálky (normální zatížení nahoru, $n = 4$; tečné zatížení dopředu, $n = 1$):

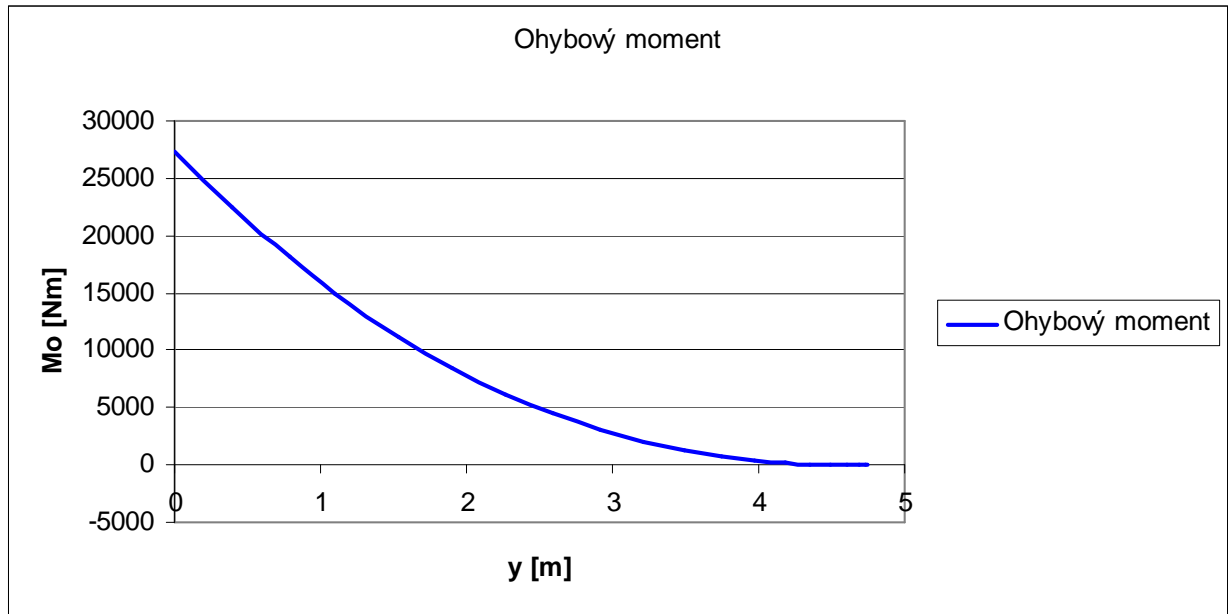


D) Ohybový moment

Ohybový moment se získá integrací posouvající síly po rozpětí:

$$M_o(y) = \int T(y)dy$$

Průběh ohybového momentu pro bod A obálky (normální zatížení nahoru, $n = 4$; tečné zatížení dopředu, $n = 1$):



Ohybový moment byl poté rozložen na normálovou a tečnou složku, a to buď pomocí úhlu náběhu letounu při daném případě nebo v poměru zatížení působícího v normálovém a tečném směru.

E) Průběh součinitele klopivého momentu

Průběh součinitele klopivého momentu byl spočítán v programu Xfoil pro oba použité profily.

Pro každý případ zatížení byl určen součinitel klopivého momentu pro kořenový i koncový profil a mezi nimi se měnil lineárně.

U křídélkových případů je nutné započítat i vliv výchylky křídélka:

$$c_m(y) = c_{m,prof} + \delta_{kř} \cdot c_m^\delta, \text{ kde } \delta_{kř} \text{ je výchylka křídélka (nahoru záporná, dolů kladná)}$$

$$c_m^\delta = -0,01$$

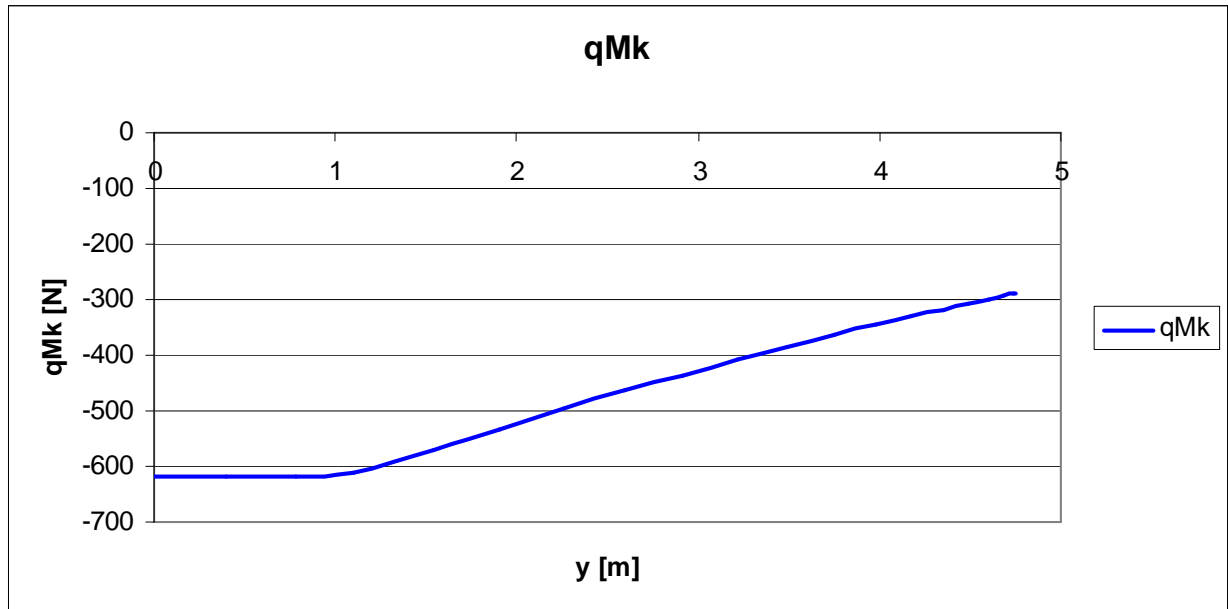
A obdobně u klapkových případů je nutné započítat výchylku klapky:

$$c_m(y) = c_{m,prof} + \delta_{kl} \cdot c_m^\delta$$

F) Spojité zatížení ve smyslu kroučícího momentu

$$q_{Mk}(y) = c_m(y) \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \cdot c^2(y)$$

Průběh spojitěho zatížení ve smyslu kroučícího momentu pro nesymetrický případ bodu A obálky (75% zatížení, plná výchylka křídélka):

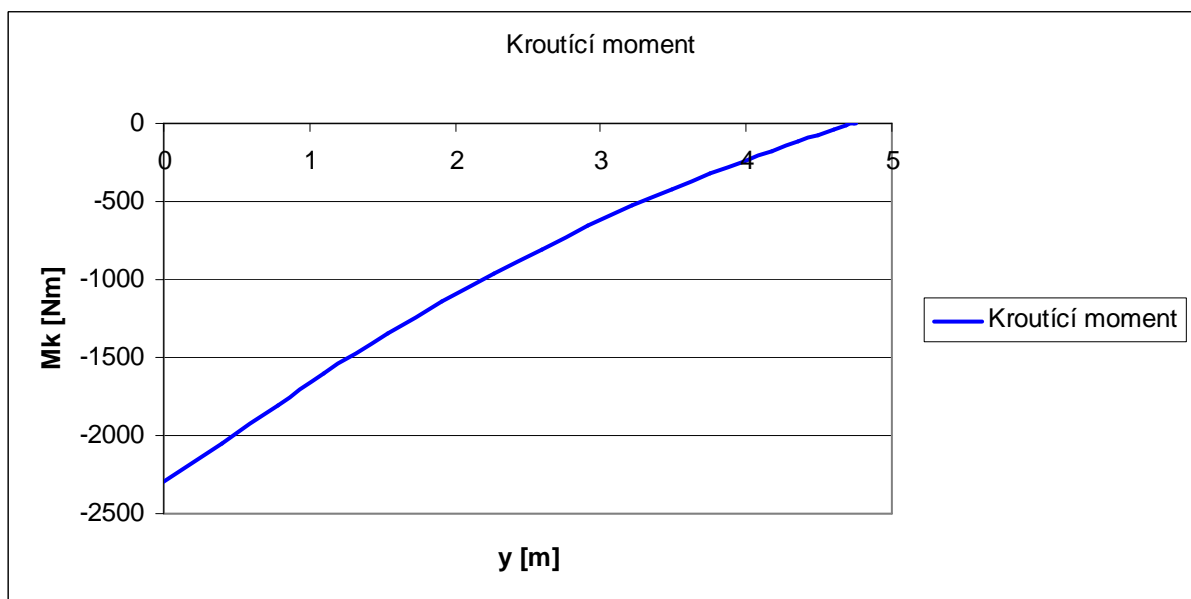


G) Kroučící moment

Kroučící moment se získá integrací spojitěho zatížení po rozpětí:

$$Mk(y) = \int q_{Mk}(y) dy$$

Průběh kroučícího momentu pro nesymetrický případ bodu A obálky (75% zatížení, plná výchylka křídélka dolů):



2.4.2 Zatížení od setrvačných sil

A) Spojité zatížení od hmotnosti konstrukce křídla

Uvažuji, že hmota konstrukce křídla je úměrná druhé mocnině hloubky:

$$G_{KR} = k \cdot \int_{-l/2}^{l/2} c^2 dy$$

$$k = \frac{G_{KR}}{\int_{-l/2}^{l/2} c^2 dy}$$

Spojité zatížení od hmotnosti konstrukce křídla pro jednotkový násobek:

$$q_{G1} = k \cdot c^2(y)$$

- symetrické případy

$$q_G(y) = q_{G1}(y) \cdot n$$

- nesymetrické případy (počátek klonění)

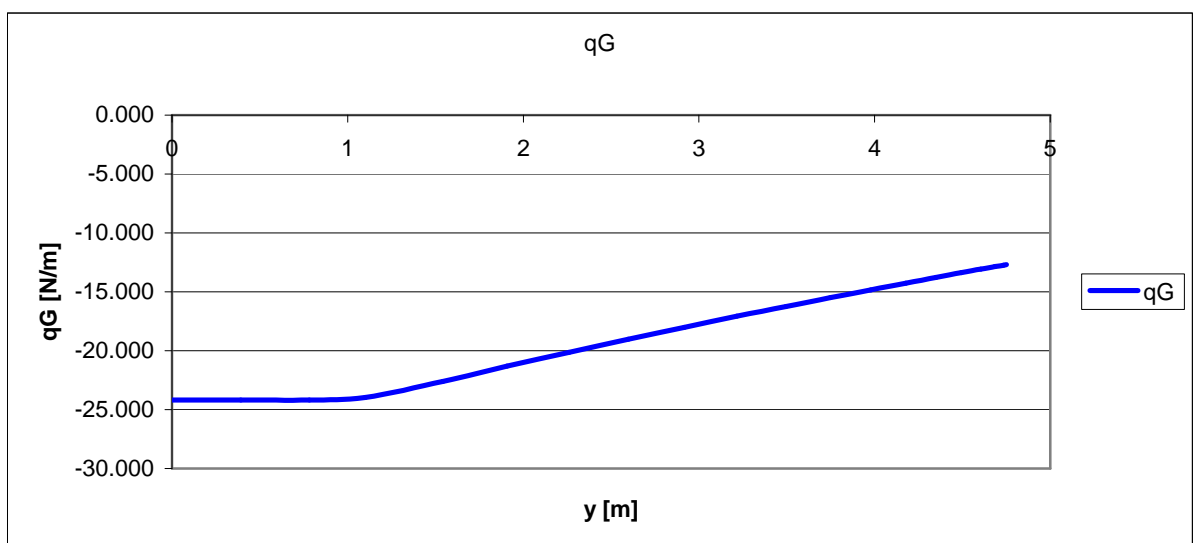
$q_G(y) = q_{G1}(y) \cdot n + q_{G1} \cdot \frac{\varepsilon_x \cdot y}{g}$, kde úhlové zrychlení ε_x je dáno z rovnosti momentů:

$$\varepsilon_x = \frac{M_{xG}}{I_x} = \frac{M_x}{I_x} = \frac{\rho \cdot \frac{v^2}{2} \cdot c_{mxANTI} \cdot S \cdot l}{m \cdot i_x^2}$$

$$i_x = (0,1 - 0,15) \cdot l$$

součinitel c_{mxANTI} byl získán z programu Glauert

Průběh spojitěho zatížení pro bod A obálky (normální zatížení nahoru, $n = 4$; tečné zatížení dopředu, $n = 1$)

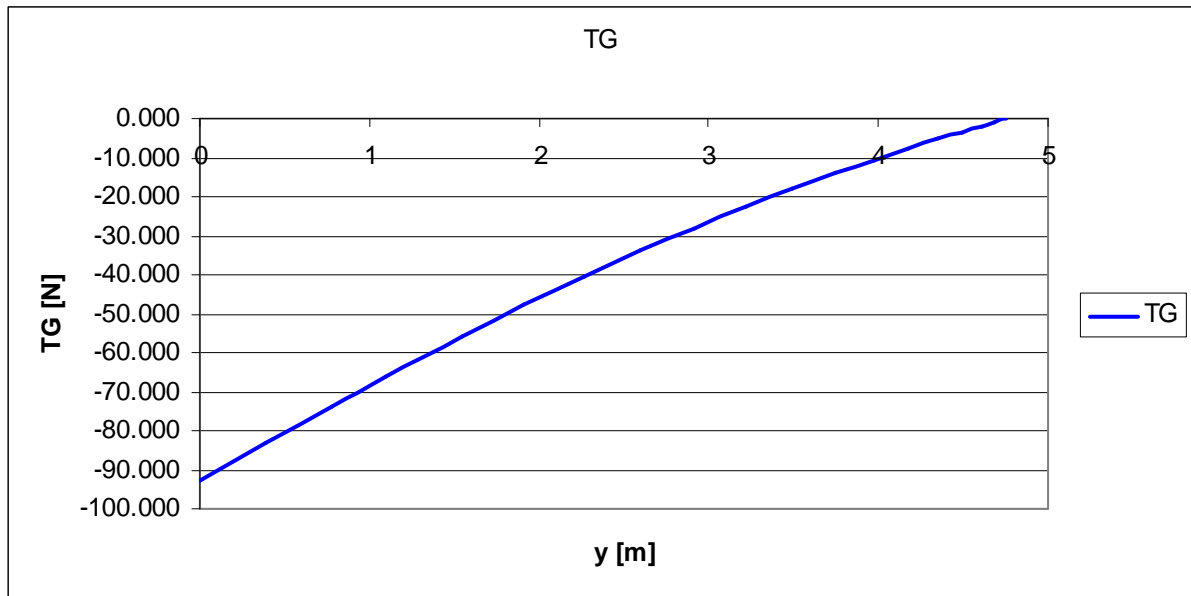


B) Posouvající síla

Posouvající síla se získá integrací spojitého zatížení od hmotnosti konstrukce po rozpětí:

$$T_G(y) = \int q_G(y) dy$$

Průběh posouvající síly pro bod A obálky (normální zatížení nahoru, $n = 4$; tečné zatížení dopředu, $n = 1$)

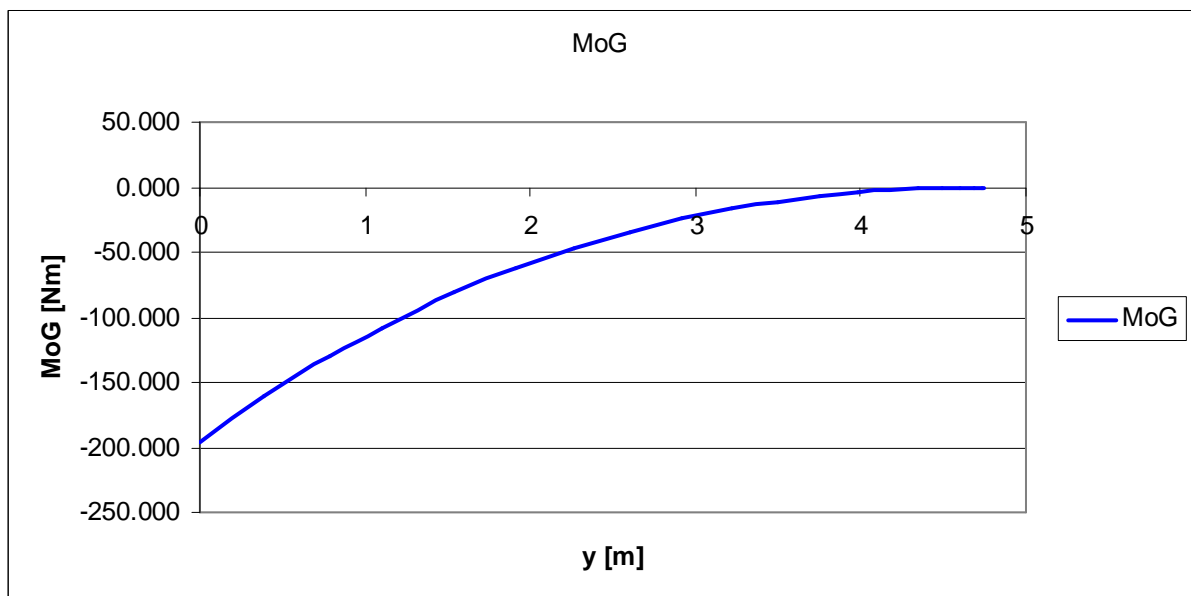


C) Ohybový moment

Ohybový moment se získá integrací posouvající síly po rozpětí:

$$M_{oG}(y) = \int T_G(y) dy$$

Průběh ohybového momentu pro bod A obálky (normální zatížení nahoru, $n = 4$; tečné zatížení dopředu, $n = 1$)



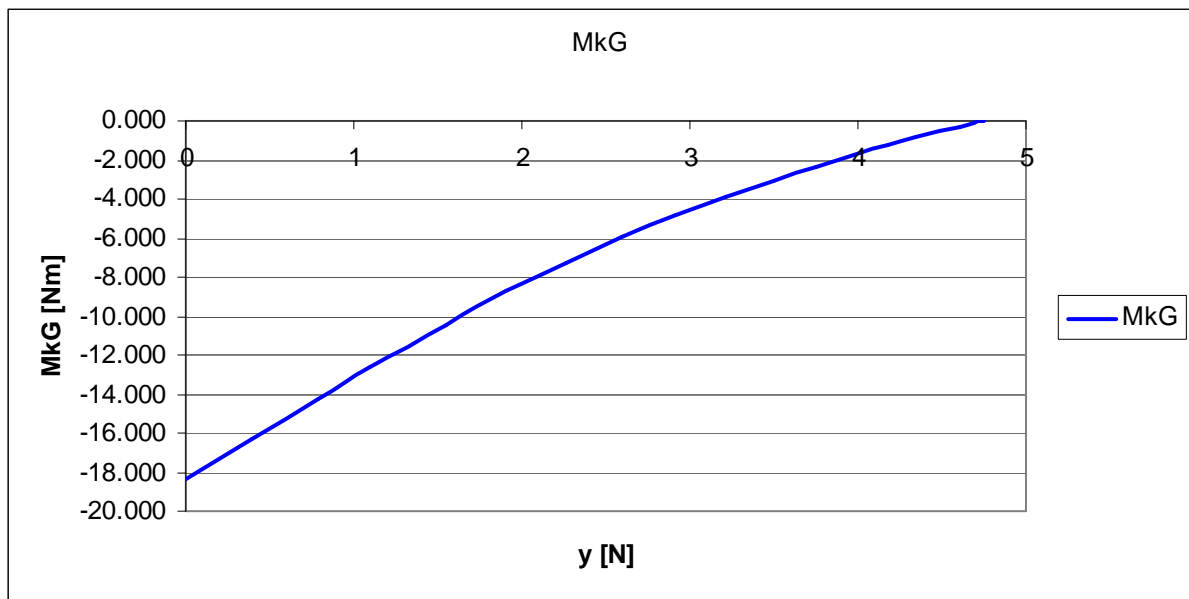
D) Kroutící moment

Kroutící moment je dán posouvající silou a ramenem mezi jejím působišťem a aerodynamickým středem:

$$M_{kG}(y) = \Delta T_G(y) \cdot (0,4 - 0,25) \cdot c(y)$$

Jedná se pouze o orientační hodnotu, pro výpočet bude rozhodující moment k aeroelastické ose.

Průběh kroutícího momentu pro bod A obálky (normální zatížení nahoru, $n = 4$; tečné zatížení dopředu, $n = 1$):



2.4.3 Výsledné zatížení křídla

Výsledné zatížení posouvající silou a ohybovým momentem je dáno součtem vzdušného zatížení a zatížením od setrvačných sil:

$$T_v(y) = T(y) + T_G(y)$$

$$Mo_v(y) = Mo(y) + Mo_G(y)$$

Výsledné zatížení kroutícím momentem je dáno:

$$Mk_v(y) = Mk(y) + T(y) \cdot e + T_G(y) \cdot d$$

e....vzdálenost mezi aeroelastickou osou

a aerodynamickým středem

d....vzdálenost mezi aeroelastickou osou

a těžištěm křídla

2.4.4 Početní zatížení

Početní zatížení získáme vynásobením výsledných zatížení koeficientem 1,5.

2.4.5 Definice rozhodujících případů

Pozn. Hodnoty vzdušných, setrvačných a výsledných zatížení pro jednotlivé případy zatížení dle předpisu ASTM F2245-04 a kladný obratový případ bodu A z dalších případů jsou uvedeny v příloze. Hodnoty pro všechny případy lze nalézt na CD v příloženém souboru Případy zatížení.xls. Grafické průběhy pro všechny případy jsou v příloze.

Přenos zatížení je u křídla rozdělen následovně:

- Kroutící moment přenáší nosný potah dutin
- Normální ohyb přenáší pásnice hlavního nosníku
- Tečný ohyb je přenášen silovou dvojicí v hlavím a pomocném nosníku
- Posouvající síla je přenášena stojinou hlavního nosníku

Z průběhu výsledných zatížení křídla lze vyčíst:

- Pro namáhání kroutícím momentem je rozhodující případ \Rightarrow Předpoklad 75% zatížení bodu D obálky na každé straně křídla a torzní zatížení křídélka vychýleného na 1/3 plné výchylky
- Pro namáhání normálním ohybem je rozhodující případ \Rightarrow Předpoklad 75% zatížení bodu A obálky na každé straně křídla a torzní zatížení od plné výchylky křídélka
- Pro namáhání tečným ohybem je rozhodující případ \Rightarrow Kladný obratový případ bodu A obálky
- Pro namáhání posouvající silou je rozhodující případ \Rightarrow Předpoklad 75% zatížení bodu A obálky na každé straně křídla a torzní zatížení od plné výchylky křídélka

3. PEVNOSTNÍ KONTROLA KŘÍDLA

3.1 DEFINICE KONTROLOVANÝCH ŘEZŮ

Křídlo bylo kontrolováno mezi každou dvojicí žebry a to v celkem osmi řezech:

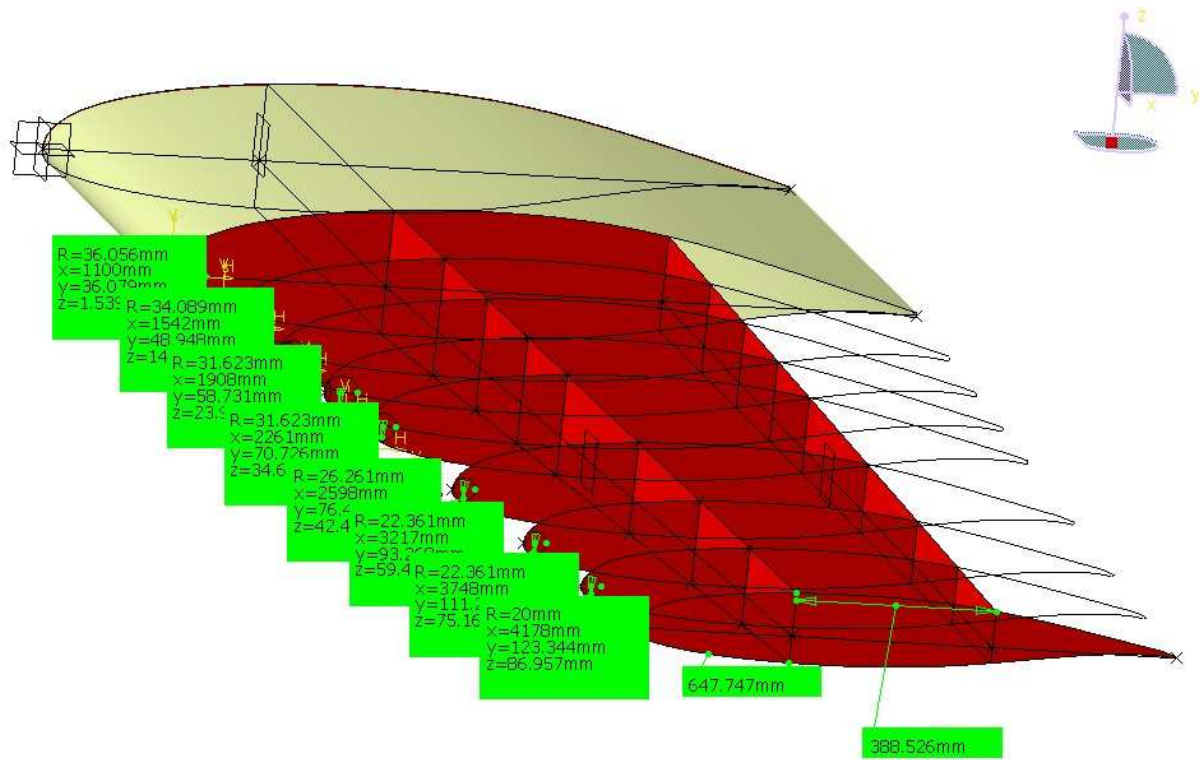
Řez	Vzdálenost [m]	Umístění
1	1,1	místo závěsů
2	1,542	mezi žebry 6 a 7
3	1,908	mezi žebry 7 a 8
4	2,261	mezi žebry 8 a 9
5	2,598	mezi žebry 9 a 10
6	3,217	mezi žebry 10 a 11
7	3,748	mezi žebry 11 a 12
8	4,178	mezi žebry 12 a 13

Postup výpočtu bude detailněji ukázán u kořenového řezu v místě závěsů, u dalších řezů je postup obdobný. Součinitele bezpečnosti pro všechny řezy shrnuje závěrečná tabulka.

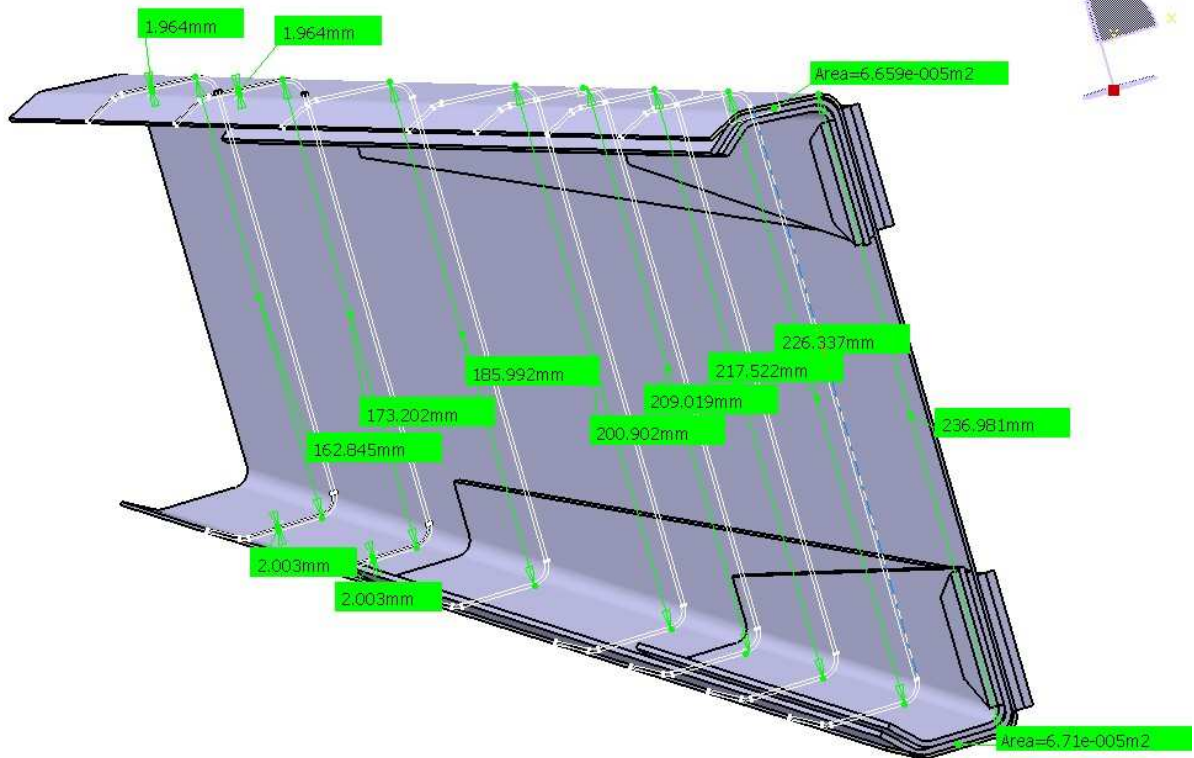
3.2 POMOCNÉ MODELY

Pro snadnější odečítání geometrických veličin, jako jsou vzdálenosti, poloměry, plochy, polohy těžišť ploch a jiné, byly vytvořeny prostorové modely křídla a nosníku v programu Catia.

Model křídla

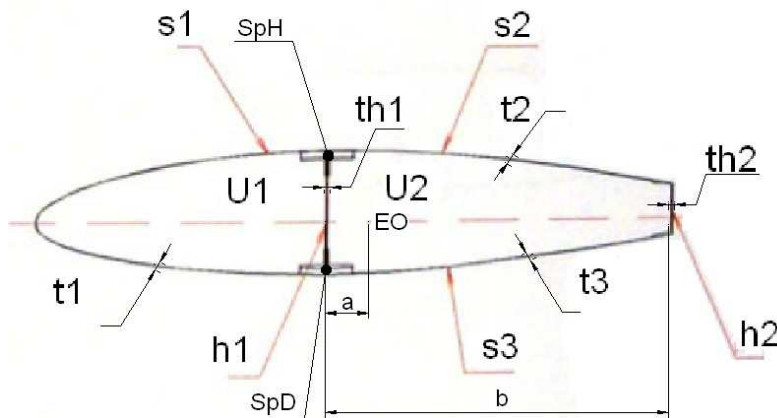


Model nosníku



3.3 PEVNOSTNÍ KONTROLA V KOŘENOVÉM ŘEZU

3.3.1 Průřezové charakteristiky



Výška hlavního nosníku h_1 [mm]	237
Výška pomocného nosníku h_2 [mm]	181,5
Plocha přední dutiny U_1 [mm ²]	77 000
Plocha zadní dutiny U_2 [mm ²]	124 000
Délka náběžné části přední dutiny s_1 [mm]	917,9
Délka horní části zadní dutiny s_2 [mm]	538,3
Délka spodní části zadní dutiny s_3 [mm]	538,8
Tloušťka náběžné části přední dutiny t_1 [mm]	0,5
Tloušťka horní části zadní dutiny t_2 [mm]	0,65
Tloušťka spodní části zadní dutiny t_3 [mm]	0,65
Tloušťka stojiny hlavního nosníku t_{h1} [mm]	1,27
Tloušťka stojiny pomocného nosníku t_{h2} [mm]	0,63
Plocha horní pásnice hlavního nosníku S_{pH} [mm ²]	914,89
Plocha dolní pásnice hlavního nosníku S_{pD} [mm ²]	989
Efektivní výška hlavního nosníku h_e [mm]	186,51
Kvadratický moment průřezu hlavního nosníku J_1 [mm ⁴]	17 218 722,08
Kvadratický moment průřezu pomocného nosníku J_2 [mm ⁴]	313 898,46
Vzdálenost aeroelastické osy k hlavnímu nosníku a [mm]	9,61
Délka zadní dutiny b [mm]	536,5

Příčemž, kvadratické průřezy nosníků a poloha aeroelastické osy jsou dány:

$$J_1 = \frac{S_{pH} \cdot S_{pD} \cdot h_e^2}{S_{pH} + S_{pD}} + \frac{h_e^3 \cdot t_{h1}}{12}$$

$$J_2 = \frac{h_2^3 \cdot t_{h2}}{12}$$

$$a = b \cdot \frac{E_2 \cdot J_2}{E_1 \cdot J_1 + E_2 \cdot J_2}$$

3.3.2 Kontrola potahu

- Zatížení, materiálové charakteristiky

Kroutící moment $M_k(y)_{poc}$ [Nmm]	-4 834 563,73
Posouvající síla $T_v(y)_{poc}$ [N]	11 882,52
Mez pevnosti R_m [Mpa]	262
Modul pružnosti v tahu E [Mpa]	72 000
Modul pružnosti ve smyku G [Mpa]	27 000

- Smykové toky

Přenos posouvající síly:

1. Smykový tok v hlavním nosníku

$$q_{z1} = \frac{T_v(y)_{poc}}{h_1} \cdot \frac{(b-a)}{b}$$

2. Smykový tok v pomocném nosníku

$$q_{z2} = \frac{T_v(y)_{poc}}{h_2} \cdot \frac{a}{b}$$

Pro přenos kroutícího momentu ve dvoudutinové konstrukci platí vztahy:

1. Bredtův vztah

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

2. Přetvárná podmínka

$$\frac{U_2}{U_1} \left[\frac{q_1 \cdot s_1}{G \cdot t_1} + \frac{(q_1 + q_{z1} - q_2) \cdot h_1}{G \cdot t_{h1}} \right] = \frac{q_2 \cdot s_2}{G \cdot t_2} + \frac{q_2 \cdot s_3}{G \cdot t_3} + \frac{(q_2 + q_{z2}) \cdot h_2}{G \cdot t_{h2}} + \frac{(q_2 - q_1 - q_{z1}) \cdot h_1}{G \cdot t_{h1}}$$

Smykové toky byly pomocí těchto vztahů určeny určeny:

q_{z1} [N/mm]	49,24
q_{z2} [N/mm]	1,17
q_1 [N/mm]	-14,35
q_2 [N/mm]	-10,59

A) Přední dutina - náběžná hrana

Kontroluje se stabilita válce vepsaného do náběžné hrany zatíženého smykem.

Dle literatury [1], tab.3.2 bylo určeno kritické smykové napětí:

$$\tau_{kr} = k_{\tau R} \cdot E \cdot \frac{t_1}{r} \cdot \sqrt{\frac{r \cdot t_1}{l}}, \text{ kde}$$

$$k_{\tau R} = 0,73 ; \text{ součinitel určený z tab. 3.2}$$

$$r = 36,06 \text{ mm} ; \text{ poloměr vepsaného válce}$$

$$l = 315 \text{ mm} ; \text{ vzdálenost mezi žebry}$$

$$\tau_{kr} = 84,61 \text{ MPa}$$

Skutečné smykové napětí

$$\tau_{sk} = \frac{q_1}{t_1} = \frac{-14,35}{0,5} = -28,7 \text{MPa}$$

Bezpečnost

$$k = \frac{\tau_{kr}}{|\tau_{sk}|} = \frac{84,61}{28,7} = 2,95$$

B) Přední dutina - největší poloměr

1. Kontroluje se stabilita zakřivené desky zatížené smykem

Dle literatury [1], tab.3.2 bylo určeno kritické smykové napětí:

$$\tau_{kr}^- = k_\tau \cdot E \cdot \left(\frac{t_1}{b}\right)^2, \text{ kde}$$

$$k_\tau = 25; \text{ součinitel určený z tab.3.2}$$

$$b = 420,5 \text{mm}; \text{ délka přední dutiny}$$

$$\tau_{kr}^\lambda = \tau_{kr}^- + 0,1 \cdot E \cdot \frac{t_1}{r}, \text{ kde}$$

$$r = 3084,6 \text{mm}; \text{ největší poloměr přední dutiny}$$

$$\tau_{kr}^\lambda = 3,71 \text{MPa}$$

Skutečné smykové napětí

$$\tau_{sk} = -28,69 \text{MPa}$$

Bezpečnost

$$k = \frac{\tau_{kr}}{|\tau_{sk}|} = \frac{3,71}{28,69} = 0,13$$

2. Pevnostní kontrola

$$k = \frac{0,5 \cdot Rm}{|\tau_{sk}|} = \frac{0,5 \cdot 262}{28,69} = 4,57$$

C) Zadní dutina - největší poloměr

1. Kontrola na stabilitu

Obdobně jako u přední dutiny.

$$r = 4430,22 \text{mm}$$

$$b = 536,5 \text{mm}$$

$$\tau_{kr} = 3,7 \text{MPa}$$

$$\tau_{sk} = \frac{q_2}{t_2} = \frac{-10,59}{0,65} = -16,29 \text{MPa}$$

$$k = \frac{\tau_{kr}}{|\tau_{sk}|} = \frac{3,7}{16,29} = 0,23$$

2. Pevnostní kontrola

$$k = \frac{0,5 \cdot Rm}{|\tau_{sk}|} = \frac{0,5 \cdot 262}{16,29} = 8,04$$

3.3.3 Kontrola stojiny

- Zatížení

Kroutící moment $Mk(\mathbf{y})_{poc}$ [Nmm]	-1 463 735,56
Posouvající síla $T_v(\mathbf{y})_{poc}$ [N]	13 687

- Smykové toky

Shodně jako u kontroly potahu byly určeny smykové toky:

q_{z1} [N/mm]	56,72
q_{z2} [N/mm]	1,35
q_1 [N/mm]	-8,40
q_2 [N/mm]	-0,69

Výsledný smykový tok ve stojině:

$$q_s = q_{z1} + q_1 - q_2 = 56,72 - 8,40 + 0,69 = 49,01 N / mm$$

1. Kontroluje se rovinná deska zatížená smykem

Dle literatury [1], tab.3.2 bylo určeno kritické smykové napětí:

$$\tau_{kr}^- = k_\tau \cdot E \cdot \left(\frac{t_1}{b} \right)^2, \text{ kde}$$

$$k_\tau = 10; \text{ součinitel určený z tab.3.2}$$

$$b = 315 mm; \text{ vzdálenost mezi žebry}$$

$$\tau_{kr} = 33,38 MPa$$

Skutečné smykové napětí

$$\tau_{sk} = \frac{q_s}{t_{z1}} = \frac{49,01}{1,27} = 38,59 MPa$$

Bezpečnost

$$k = \frac{\tau_{kr}}{\tau_{sk}} = \frac{33,38}{38,59} = 0,87$$

2. Pevnostní kontrola

Dle literatury [1], tab.3.7 byla určena únosnost hladké desky:

$$q_p = 68N / mm$$

$$k = \frac{q_p}{q_s} = \frac{68}{49,01} = 1,39$$

Pozn. V dalších řezech bylo nutno započítat i vliv odlehčovacích otvorů. Únosnost desky se potom stanovila dle vztahu:

$$q = q_p \cdot \left(1 - \frac{D}{h_e}\right), \text{ kde}$$

D je průměr odlehčovacího otvoru

h_e je efektivní výška nosníku

3.3.4 Kontrola pásnic

- Zatížení

Normální moment $M_{vn}(y)_{poc}$ [Nmm]	23 214 993,5
Tečný moment $M_{vt}(y)_{poc}$ [Nmm]	5 127 892,54

- Síly v pásnicích

a) síla od normálního momentu

$$N_{pn} = \frac{M_{vn}(y)_{poc}}{h_e} = \frac{23\,214\,993,5}{186,51} = 124470,5N$$

b) síla od tečného momentu

$$N_{pt} = \frac{M_{vt}(y)_{poc}}{Rn} = \frac{5\,127\,892,54}{186,51} = 9323,44N \quad Rn = 550mm; \text{ rameno mezi nosníky}$$

c) výsledné síly v pásnicích

Síla od normálního momentu zatěžuje horní pásnice na tlak a dolní pásnice na tah.

Síla od tečného momentu zatěžuje horní i dolní pásnice na tlak.

Výsledné síly v pásnicích tedy budou:

$$N_{ph} = N_{pn} + N_{pt} = 124470,5 + 9323,44 = 133793,94N$$

$$N_{pd} = N_{pn} - N_{pt} = 124470,5 - 9323,44 = 115147,06N$$

Pozn. Do plochy pásnic byl započítán i lem stojiny.

A) Dolní pásnice - pevnostní kontrola

Tahové napětí

$$\sigma_t = \frac{N_{pd}}{S_{pD}} = \frac{115147,06}{989} = 116,43 \text{MPa}$$

Bezpečnost

$$k = \frac{Rm}{\sigma_t} = \frac{262}{116,43} = 2,25$$

B) Horní pásnice - kontrola na stabilitu

Vybereme část pásnice s největší štíhlostí a dle literatury [1], tab. 2.6 odečteme kritické napětí.

Největší štíhlost má lem stojiny:

$$\frac{b}{s} = \frac{27}{1,27} = 21,26$$

Kritické napětí bylo odečteno:

$$\sigma_{kr} = 270 \text{MPa}$$

Skutečné napětí

$$\sigma_{sk} = \frac{N_{ph}}{S_{pH}} = \frac{133793,94}{914,89} = 146,24 \text{MPa}$$

Bezpečnost

$$k = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma_{sk}} = \frac{270}{146,24} = 1,85$$

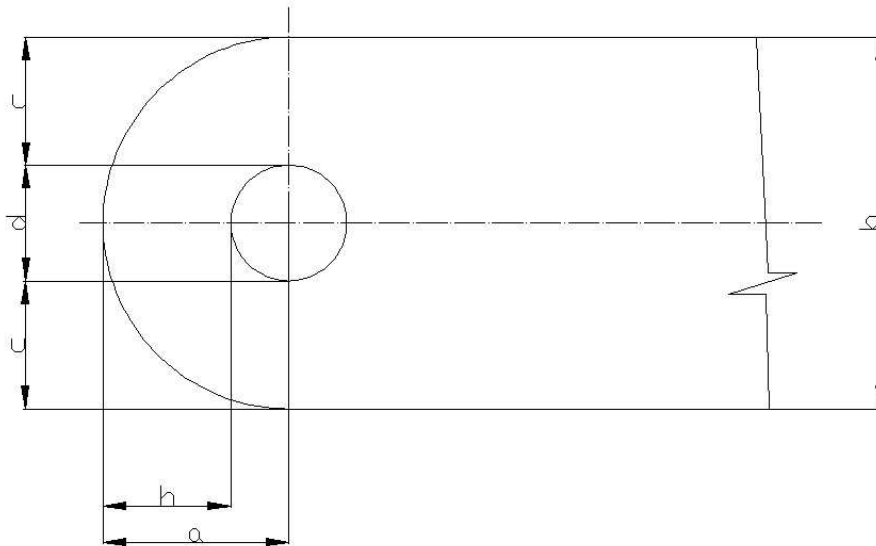
3.3.5 Kontrola závěsů

A) Závěsy hlavního nosníku

Závěsy hlavního nosníku jsou složeny (stejně jako nosník samotný) z několika profilů, jak lze vyčíst z výkresů. Materiálem závěsů je 6061 - T6.

Při výpočtu postupujeme dle literatury [1], tab.4.4 .

Oko bylo kontrolováno na utržení a vysmyknutí čepu.



Rozměry oka

	b [mm]	d [mm]	c [mm]	a [mm]	h [mm]	t [mm]
Horní závěs	45	18	13,5	22,5	13,5	15,195
Dolní závěs	50	15	17,5	25	17,5	15,195

t je celková tloušťka profilů

1. Kontrola horního závěsu

a) na utržení

$$\sigma = 1,15 \cdot \frac{P}{F_1} \leq Rm$$

$$P = N_{pH} = 133793,94N$$

$$F_1 = 2 \cdot c \cdot t = 2 \cdot 13,5 \cdot 15,195 = 410,27mm^2$$

$$\sigma = 1,15 \cdot \frac{133793,94}{410,27} = 375,03MPa$$

Bezpečnost

$$k = \frac{Rm}{\sigma} = \frac{262}{375,03} = 0,7$$

b) na vysmyknutí čepu a roztržení oka

$$\sigma_{out} = \frac{P}{F_2} \leq \sigma_{pkotl}$$

$$F_2 = d \cdot t = 18 \cdot 15,195 = 273,51 \text{mm}^2$$

$$\sigma_{pkotl} = 301,3 \text{MPa} ; \text{ bylo určeno z tab. 4.4}$$

$$\sigma = \frac{133793,94}{273,51} = 489,17 \text{MPa}$$

Bezpečnost

$$k = \frac{\sigma_{pkotl}}{\sigma_{out}} = \frac{301,3}{489,17} = 0,62$$

2. Kontrola dolního závěsu

a) na utržení

$$\sigma = 1,15 \cdot \frac{P}{F_1} \leq Rm$$

$$P = N_{pD} = 115147,06 \text{N}$$

$$F_1 = 2 \cdot c \cdot t = 2 \cdot 17,5 \cdot 15,195 = 531,83 \text{mm}^2$$

$$\sigma = 1,15 \cdot \frac{115147,06}{531,83} = 248,99 \text{MPa}$$

Bezpečnost

$$k = \frac{Rm}{\sigma} = \frac{262}{248,83} = 1,05$$

b) na vysmyknutí čepu a roztržení oka

pozn. dolní závěs má dvě oka, což se projeví na velikosti F_2

$$\sigma_{out} = \frac{P}{F_2} \leq \sigma_{pkotl}$$

$$F_2 = 2 \cdot d \cdot t = 2 \cdot 15 \cdot 15,195 = 455,85 \text{mm}^2$$

$$\sigma_{pkotl} = 419,20 \text{MPa} ; \text{ bylo určeno z tab. 4.4}$$

$$\sigma = \frac{115147,06}{455,85} = 252,6 \text{MPa}$$

Bezpečnost

$$k = \frac{\sigma_{pkotl}}{\sigma_{otl}} = \frac{419,2}{252,6} = 1,66$$

B) Závěs pomocného nosníku

Závěs pomocného nosníku je z jednoho kusu. Materiálem je 2024 - T3 $\Rightarrow R_m = 482 \text{ Mpa}$.
Slouží především pro přenos tečného momentu.

Maximální tečný moment v kořenovém řezu: $M_{vt}(y)_{poc} = 6\,400\,266,10 \text{ Nmm}$ pro kladný
obratový případ obálky.

Rozměry oka

b [mm]	d [mm]	c ₁ [mm]	c ₂ [mm]	a [mm]	h [mm]	t [mm]
70	8	16	46	20	16	4

a) kontrola na utržení

$$\sigma = 1,15 \cdot \frac{P}{F_1} \leq R_m$$

$$P = \frac{M_{vt}(y)_{poc}}{R_n} = \frac{6400266,1}{550} = 11636,83 \text{ N}$$

$$F_1 = (c_1 + c_2) \cdot t = (16 + 46) \cdot 4 = 248 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = 1,15 \cdot \frac{6400266,1}{248} = 53,96 \text{ MPa}$$

Bezpečnost

$$k = \frac{R_m}{\sigma} = \frac{482}{53,96} = 8,95$$

b) na vysmyknutí čepu a roztržení oka

$$\sigma_{otl} = \frac{P}{F_2} \leq \sigma_{pkotl}$$

$$F_2 = d \cdot t = 8 \cdot 4 = 32 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{pkotl} = 1086,75 \text{ MPa} ; \text{ bylo určeno z tab. 4.4}$$

$$\sigma = \frac{11636,83}{32} = 363,65 \text{ MPa}$$

Bezpečnost

$$k = \frac{\sigma_{pkotl}}{\sigma_{otl}} = \frac{1086,75}{363,65} = 2,99$$

3.4 TABULKA SOUČINITELŮ BEZPEČNOSTI PRO VŠECHNY ŘEZY

POTAH					
PŘEDNÍ DUTINA				ZADNÍ DUTINA	
ŘEZ [m]	NÁBĚŽNÁ HRANA	NEJVĚTŠÍ POLOMĚR		NEJVĚTŠÍ POLOMĚR	
	STABILITA	STABILITA	PEVNOST	STABILITA	PEVNOST
1,1	2,95	0,13	4,57	0,23	8,04
1,542	3,34	0,15	5,08	0,26	8,79
1,908	3,59	0,18	5,59	0,31	9,60
2,261	4,05	0,21	6,32	0,36	10,64
2,598	4,83	0,24	7,04	0,41	11,64
3,217	7,75	0,34	9,25	0,58	14,93
3,748	10,22	0,50	14,07	0,84	20,50
4,178	16,65	0,79	23,44	1,17	30,94
STOJINA					
ŘEZ [m]	STABILITA	PEVNOST		DOLNÍ	HORNÍ
1,1	0,87	1,39		2,25	1,85
1,542	0,87	1,23		1,81	1,53
1,908	0,91	1,20		1,76	1,49
2,261	1,08	1,22		1,35	1,17
2,598	1,21	1,25		1,73	1,51
3,217	1,83	1,71		3,24	2,88
3,748	2,95	2,25		2,45	2,18
4,178	6,35	5,03		8,72	7,85

ZÁVĚSY					
HLAVNÍ NOSNÍK				POMOCNÝ NOSNÍK	
HORNÍ ZÁVĚS		DOLNÍ ZÁVĚS			
UTRŽENÍ	VYSMYKNUTÍ	UTRŽENÍ	VYSMYKNUTÍ	UTRŽENÍ	VYSMYKNUTÍ
0,7	1,05	0,62	1,66	8,95	2,99

3.4.5 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Z hodnot součinitelů bezpečnosti jsou patrné nízké výsledky u kontroly potahu na stabilitu. To by mělo být u firmy CZAW vyřešeno vyztužením potahového panelu třemi podélníky, které zvyšují kritické napětí.

Větší nepříjemnosti způsobují bezpečnosti závěsů při kontrole na utržení. Ty by měly být ještě zesíleny nebo použit pevnější materiál.

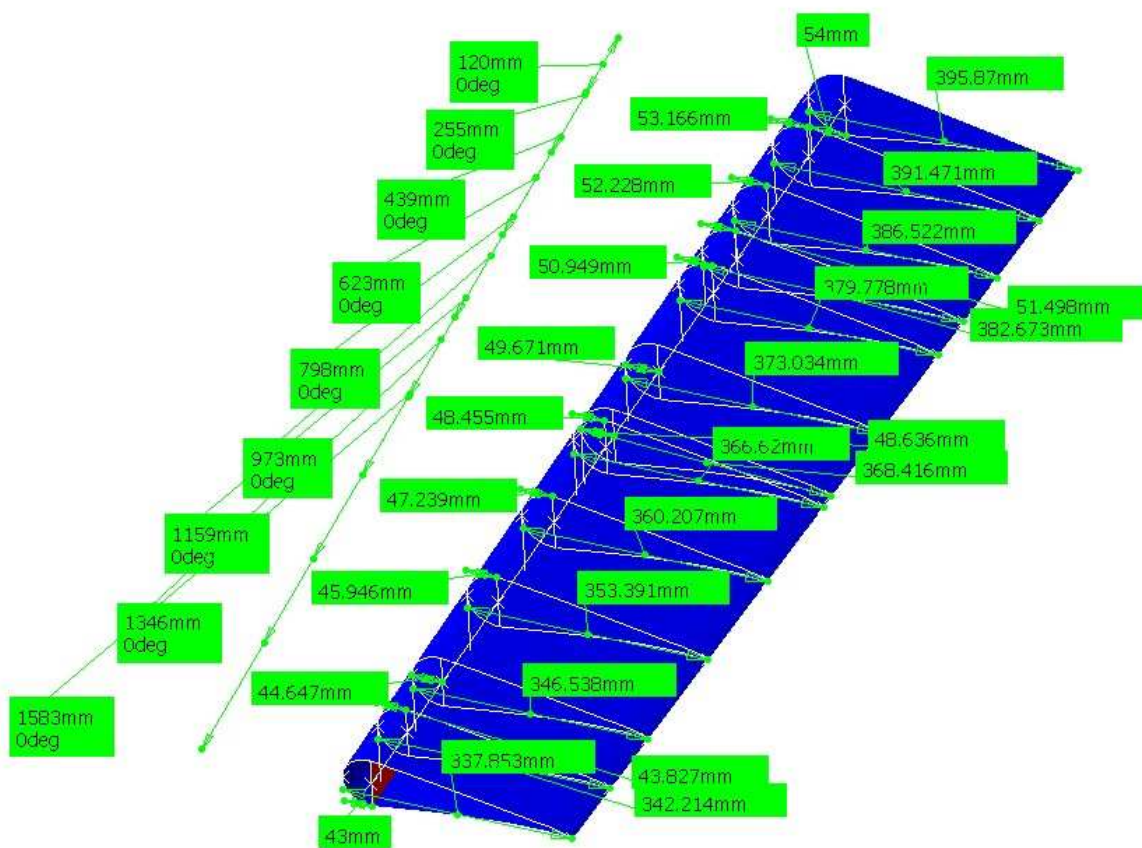
4. VÝPOČET ZATÍŽENÍ KŘIDÉLKA

4.1 POPIS KŘIDÉLKA

Křídélko je zavěšeno na sedmém a devátém žebře křídla, jeho délka činí 1583mm, u kořene je hluboké 396mm, na konci 338mm. Výkresy křídélka lze nalézt v přílohách.

4.2 MODEL KŘIDÉLKA

Vytvořen v programu Catia pro snadnější odečítání geometrických hodnot.



4.3 LINIOVÉ ZATÍŽENÍ KŘIDÉLKA

Předpis stanovuje průměrnou hodnotu zatížení po délce křídélka:

$$\bar{w} = 0,466 \cdot n_1 \cdot \frac{W}{S}$$

$n_1 = 4$; maximální obratový násobek zatížení

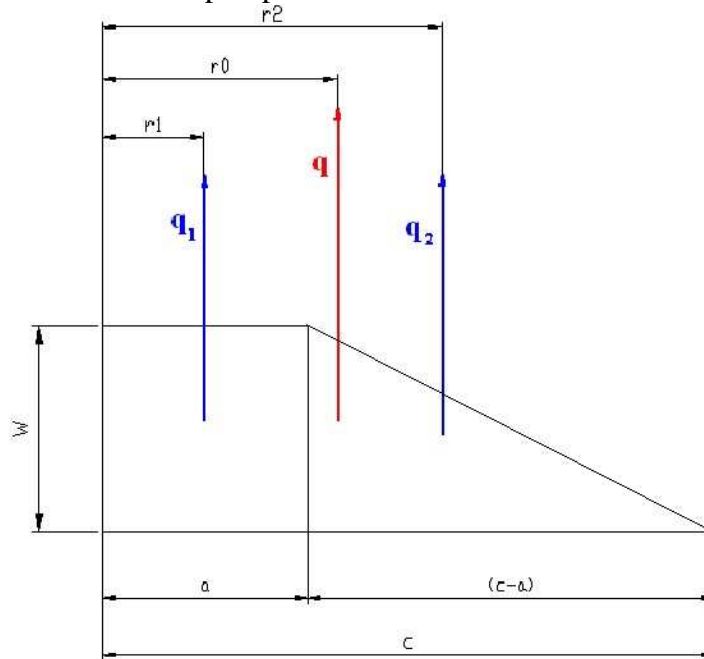
$W = 1433$ lb; hmotnost letounu v librách

$S = 133,26$ sq.ft; plocha křídla ve feetech

$$\bar{w} = 0,466 \cdot n_1 \cdot \frac{W}{S} = 0,466 \cdot 4 \cdot \frac{1433}{133,26} = 20,04 [\text{lb} / \text{sq.ft}] = 960,08 [\text{N} / \text{m}^2]$$

Stanovení velikosti zatížení v jednotlivých řezech

Průběh zatížení po hloubce má dle předpisu tvar:



$$q_1 = \bar{w} \cdot a$$

$$q_2 = \bar{w} \cdot \frac{(c-a)}{2}$$

$$q = q_1 + q_2$$

Působíště liniového zatížení v jednotlivých řezech:

$$r_1 = \frac{a}{2}$$

$$r_2 = a + \frac{1}{3} \cdot (c-a)$$

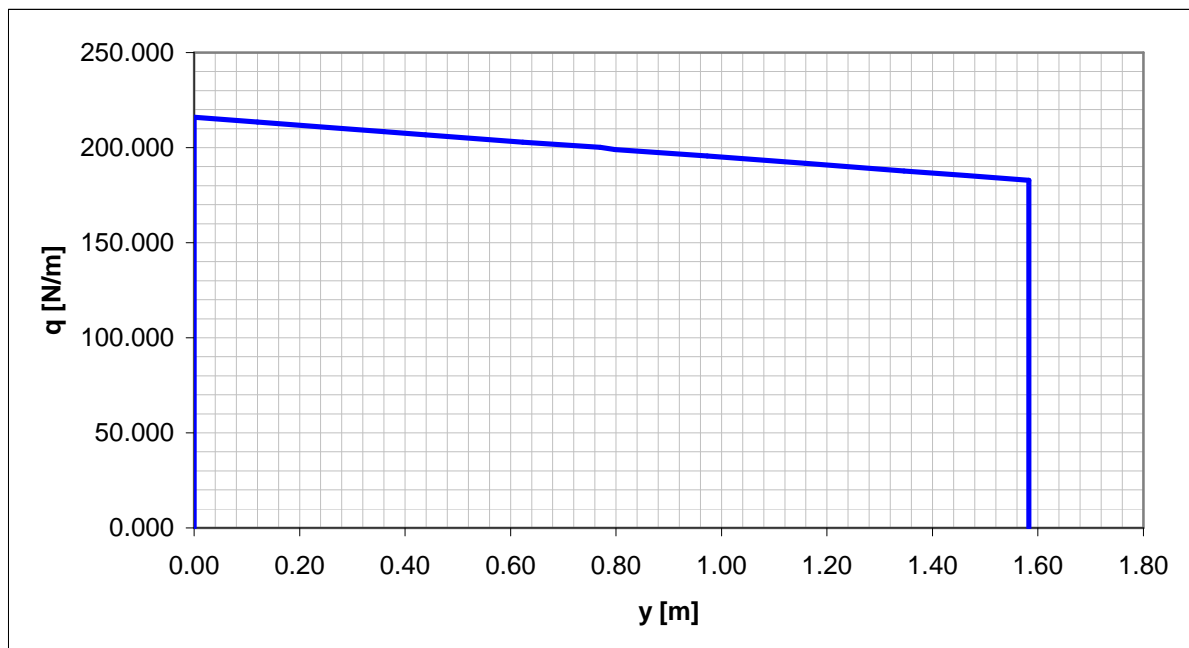
$$r_0 = \frac{r_1 \cdot q_1 + r_2 \cdot q_2}{q_1 + q_2}$$

Výsledné hodnoty

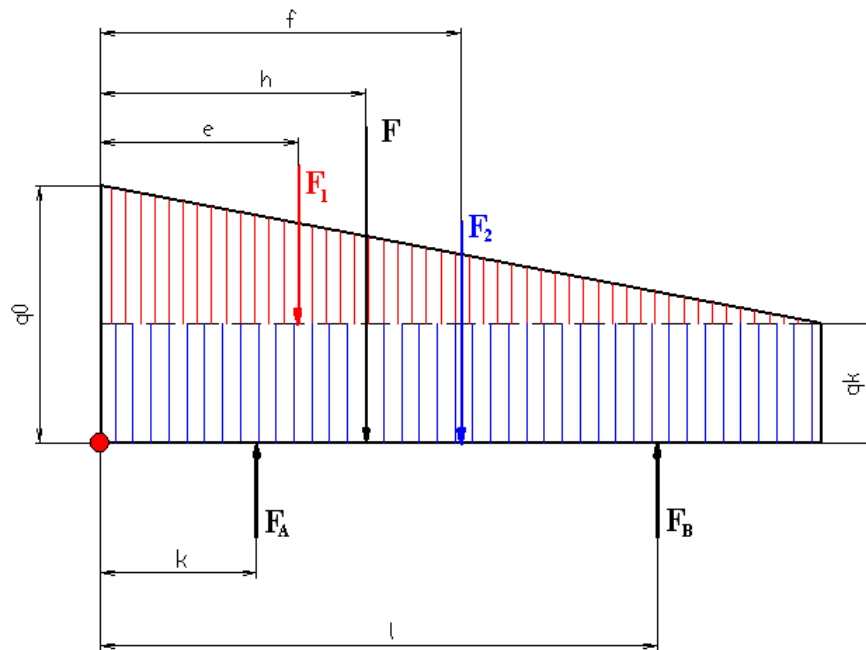
Řez	y [m]	c[m]	a[m]	c-a[m]	q1[N/m]	q2[N/m]	q[N/m]	r0[m]
1 - kořen	0.000	0.3960	0.0540	0.3420	51.84	164.17	216.02	0.1342
2	0.120	0.3915	0.0532	0.3383	51.08	162.40	213.47	0.1326
3 - závěs A	0.255	0.3865	0.0522	0.3343	50.12	160.48	210.59	0.1309
4 - Ovládací táhlo	0.360	0.3827	0.0515	0.3312	49.44	158.99	208.43	0.1296
5	0.439	0.3798	0.0509	0.3289	48.87	157.89	206.75	0.1286
6 - žebro	0.623	0.3730	0.0497	0.3233	47.72	155.20	202.91	0.1263
7 - Výslednice F	0.770	0.3684	0.0486	0.3198	46.66	153.52	200.18	0.1247
8	0.798	0.3662	0.0485	0.3177	46.56	152.51	199.07	0.1240
9 - žebro	0.973	0.3602	0.0472	0.3130	45.32	150.25	195.57	0.1219
10	1.159	0.3534	0.0459	0.3075	44.07	147.61	191.68	0.1196
11 - závěs B	1.346	0.3465	0.0446	0.3019	42.82	144.92	187.74	0.1172
12	1.464	0.3422	0.0438	0.2984	42.05	143.24	185.30	0.1157
13 - konec	1.583	0.3380	0.0430	0.2950	41.28	141.61	182.90	0.1143

Tabulka rovněž popisuje polohu závěsů a ovládacího táhla, r_0 je působiště liniového zatížení v daném řezu, a je poloha osy otáčení.

Průběh liniového zatížení po délce křídélka



4.4 REAKCE V ZÁVĚSECH



$$F_1 = \frac{(q_0 - q_k)}{2} \cdot L_{\text{křid}} = \frac{(216,02 - 182,9)}{2} \cdot 1,583 = 26,22N$$

$$e = \frac{1}{3} \cdot L_{\text{křid}} = \frac{1}{3} \cdot 1,583 = 0,528m$$

$$F_2 = q_k \cdot L_{\text{křid}} = 216,02 \cdot 1,583 = 289,52N$$

$$f = \frac{1}{2} \cdot L_{\text{křid}} = \frac{1}{2} \cdot 1,583 = 0,792m$$

$$F = F_1 + F_2 = 26,22 + 289,52 = 315,74N$$

Síla F je ekvivalentní liniovému zatížení, její působíště je dáno:

$$F_1 \cdot e + F_2 \cdot f = F \cdot h \Rightarrow h = \frac{F_1 \cdot e + F_2 \cdot f}{F} = \frac{26,22 \cdot 0,528 + 289,52 \cdot 0,792}{315,74} = 0,770m$$

Reakce v závěsech vyplývají ze silové a momentové rovnováhy:

$$\sum F = 0: F - F_A - F_B = 0 \Rightarrow F_A = F - F_B = 315,74 - 148,93 = 166,81N$$

$$\sum M = 0: F_A \cdot k - F \cdot h + F_B \cdot l = 0 \Rightarrow F_B = \frac{F \cdot (h - k)}{l - k} = \frac{315,74 \cdot (0,770 - 0,255)}{1,346 - 0,255} = 148,93N$$

4.5 PRŮBĚH POSOUVAJÍCÍ SÍLY A OHYBOVÉHO MOMENTU

Posouvající síla se získá integrací liniového zatížení po délce křídélka:

$$T = \int_0^{l_{kf}} q(y) dy$$

Při výpočtu je nutné v místě závěsů zavést reakce spočtené v předchozím odstavci.

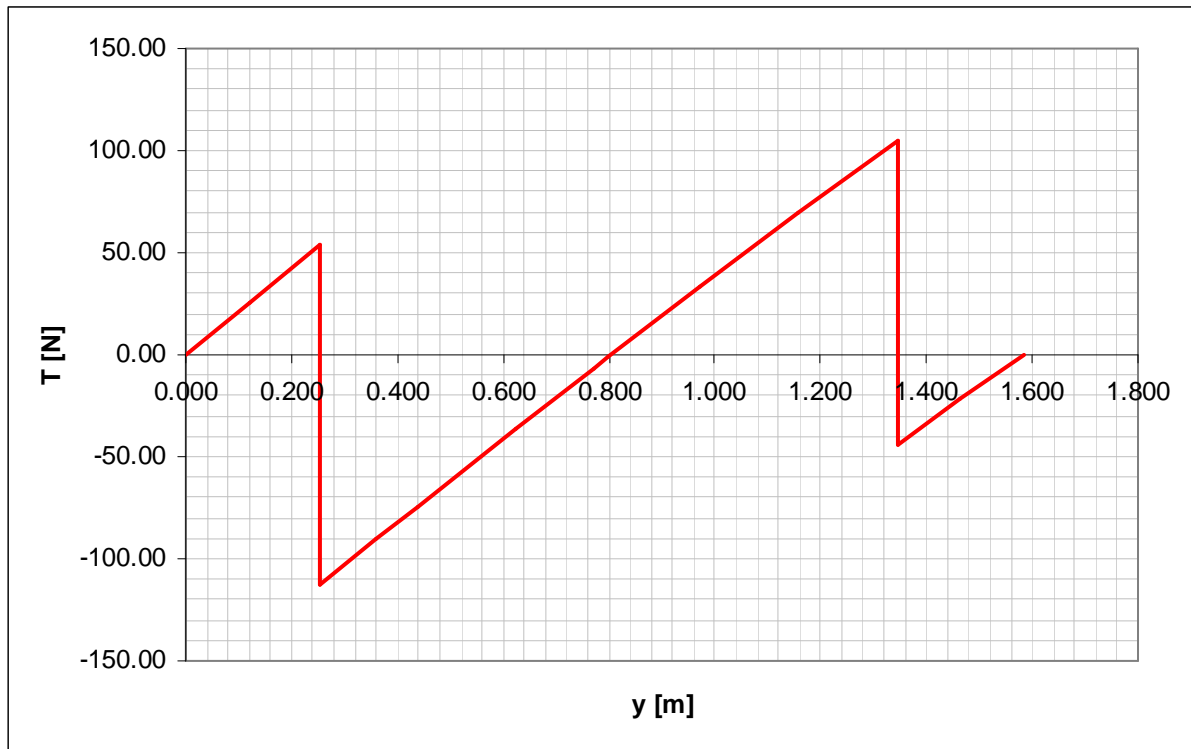
Ohybový moment se získá integrací posouvající síly po délce křídélka:

$$M_o = \int_0^{l_{kf}} T(y) dy$$

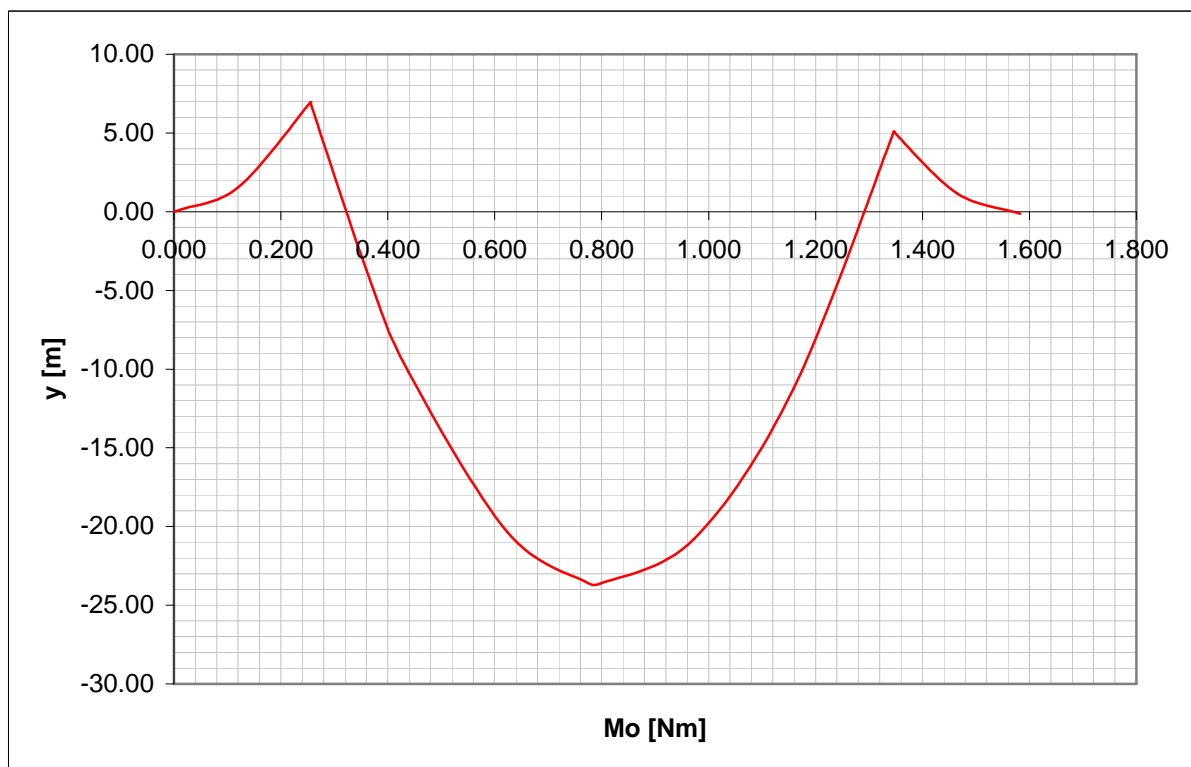
Výsledné hodnoty

Řez	y [m]	q[N/m]	T [N]	Mo [Nm]
1 - kořen	0.000	216.02	0.00	0.00
2	0.120	213.47	25.77	1.55
3 - závěs A	0.255	210.59	54.39	6.96
3 - závěs A	0.255	210.59	-112.42	6.96
4 - Ovládací táhlo	0.360	208.43	-90.42	-3.69
5	0.439	206.75	-74.02	-10.19
6 - žebro	0.623	202.91	-36.33	-20.34
7 - Výslednice F	0.770	200.18	-6.71	-23.50
8	0.798	199.07	-1.12	-23.61
9 - žebro	0.973	195.57	33.42	-20.79
10	1.159	191.68	69.43	-11.22
11 - závěs B	1.346	187.74	104.91	5.08
11 - závěs B	1.346	187.74	-44.02	5.08
12	1.464	185.30	-22.01	1.18
13 - konec	1.583	182.90	-0.10	-0.13

Průběh posouvající síly



Průběh ohybového momentu



4.6 ZÁVĚSOVÝ MOMENT KŘIDÉLKA A REAKCE V OVLÁDACÍM TÁHLE

Ekvivalentní síla F vytváří závěsový moment na rameni:

$$r = r_0 - a$$

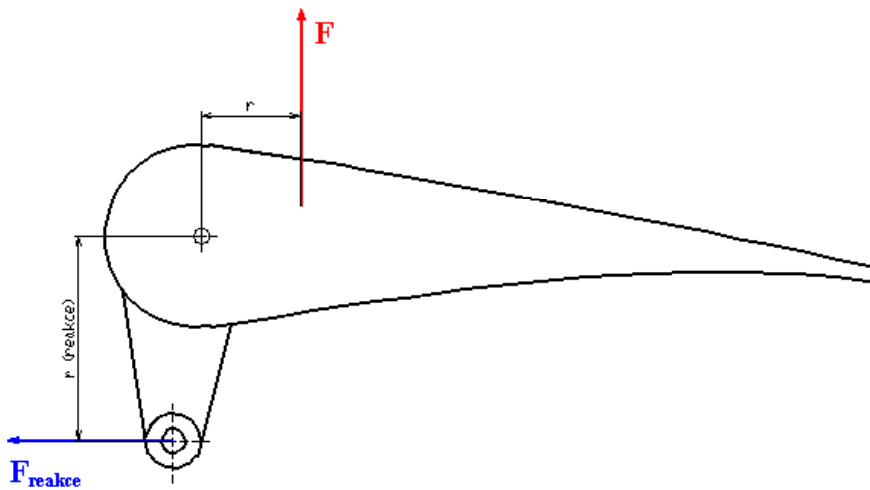
r_0působíště po hloubce křídélka v místě působíště síly F po délce křídélka
 a vzdálenost od náběžné hrany po osu otáčení v místě působíště síly F

$$r = r_0 - a = 0,1247 - 0,0486 = 0,0761m$$

Závěsový moment

$$M_{závěs} = F \cdot r = 315,74 \cdot 0,0761 = 24,02Nm$$

Reakce v ovládacím táhle



Reakce působí na rameni $r_{páky} = 0,093m$ (odečteno z výkresu).
 Reakce se stanoví z momentové rovnováhy dle obrázku:

$$F \cdot r = F_{reakce} \cdot r_{páky} \Rightarrow F_{reakce} = \frac{F \cdot r}{r_{páky}} = \frac{315,74 \cdot 0,0761}{0,093} = 259,44N$$

4.7 PRŮBĚH KROUTÍCÍHO MOMENTU

Kroutící moment je určen vztahem:

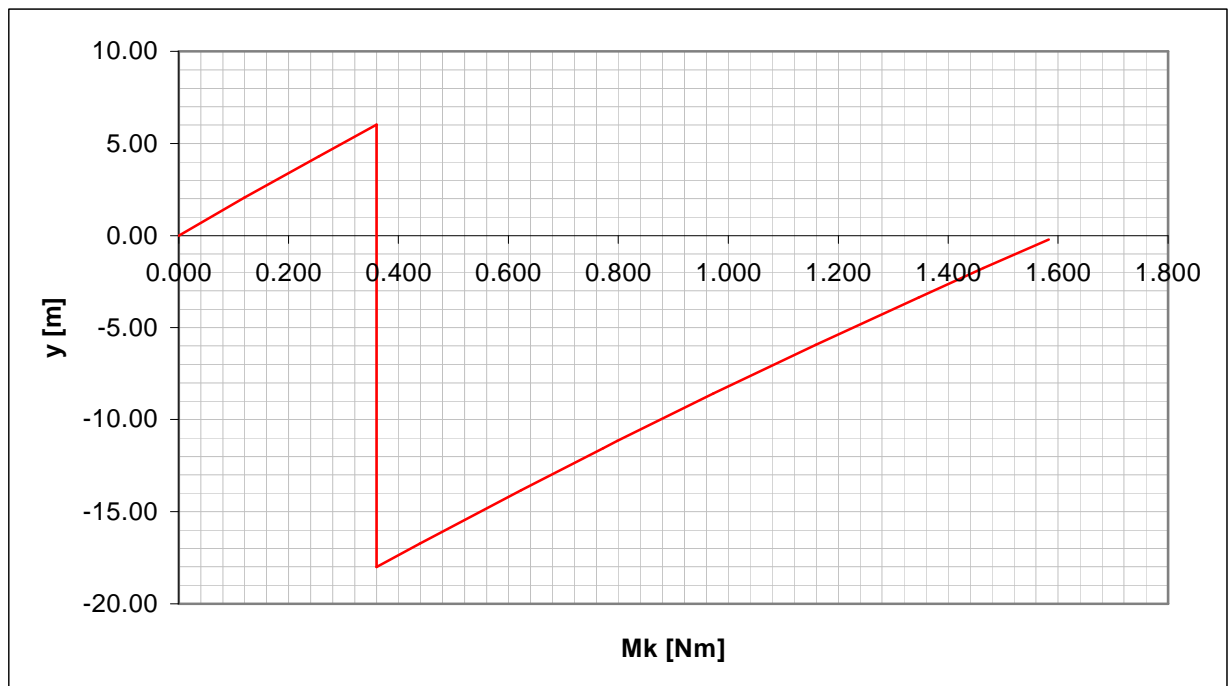
$$M_K = \int_0^{l_k} q(y) \cdot r(y) \cdot dy$$

Do průběhu kroutícího momentu je nutno v místě ovládacího táhla zavést závěsový moment.

Výsledné hodnoty

Řez	y [m]	q[N/m]	r0[m]	a[m]	r [m]	Mk [Nm]
1 - kořen	0.000	216.02	0.1342	0.0540	0.0802	0.00
2	0.120	213.47	0.1326	0.0532	0.0794	2.05
3 - závěs A	0.255	210.59	0.1309	0.0522	0.0787	4.30
4 - Ovládací táhlo	0.360	208.43	0.1296	0.0515	0.0781	6.02
4 - Ovládací táhlo	0.360	208.43	0.1296	0.0515	0.0781	-18.01
5	0.439	206.75	0.1286	0.0509	0.0777	-16.73
6 - žebro	0.623	202.91	0.1263	0.0497	0.0766	-13.85
7 - Výslednice F	0.772	200.18	0.1247	0.0486	0.0761	-11.56
8	0.798	199.07	0.1240	0.0485	0.0755	-11.17
9 - žebro	0.973	195.57	0.1219	0.0472	0.0747	-8.59
10	1.159	191.68	0.1196	0.0459	0.0737	-5.94
11 - závěs B	1.346	187.74	0.1172	0.0446	0.0726	-3.36
12	1.464	185.30	0.1157	0.0438	0.0719	-1.78
13 - konec	1.583	182.90	0.1143	0.0430	0.0713	-0.22

Průběh kroutícího momentu



5. VÝPOČET ZATÍŽENÍ VZTLAKOVÉ KLAPKY

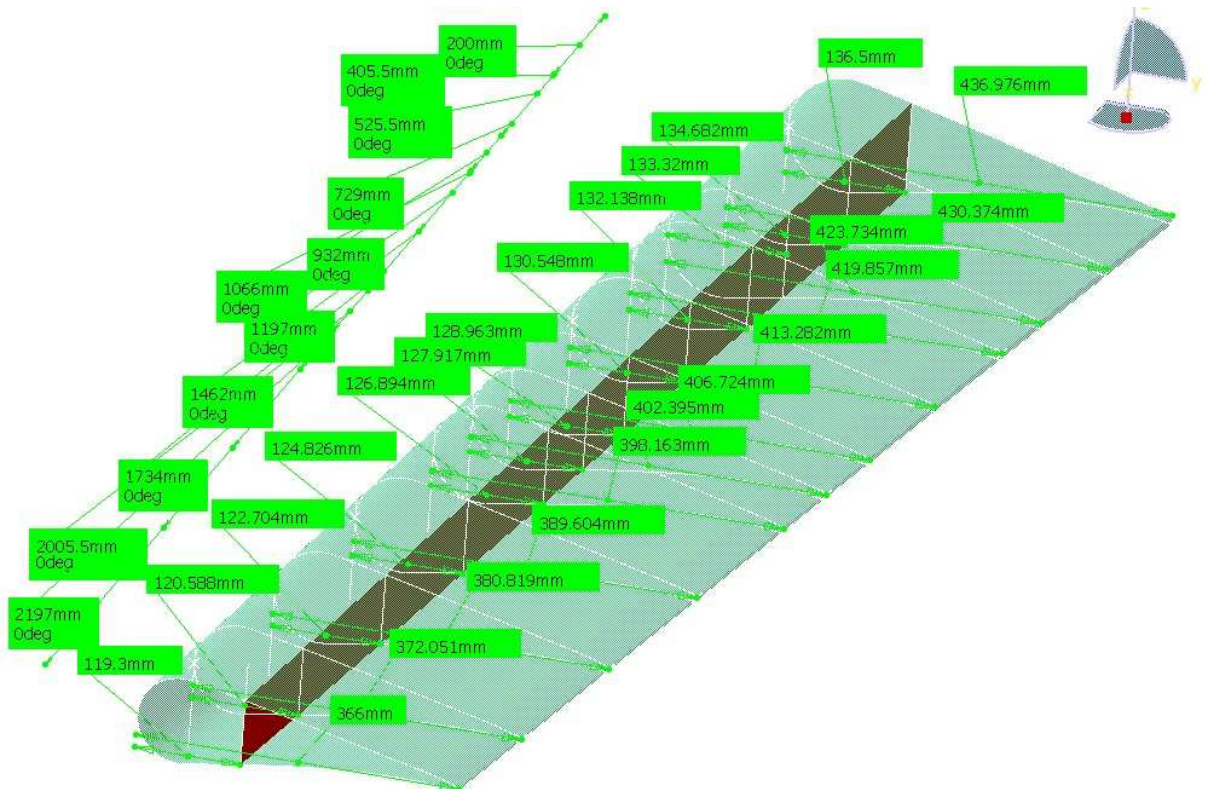
Výpočet zatížení klapky je obdobný jako u křídélka.

5.1 POPIS VZTLAKOVÉ KLAPKY

Klapka je zavěšena na druhém a šestém žebře křídla, její délka činí 2197mm, u kořene je hluboká 437mm, u konce potom 366mm. Výkresy klapky lze nalézt v přílohách.

5.2 MODEL KLAPKY

Opět vytvořen v programu Catia.



5.3 LINIOVÉ ZATÍŽENÍ KLAPKY

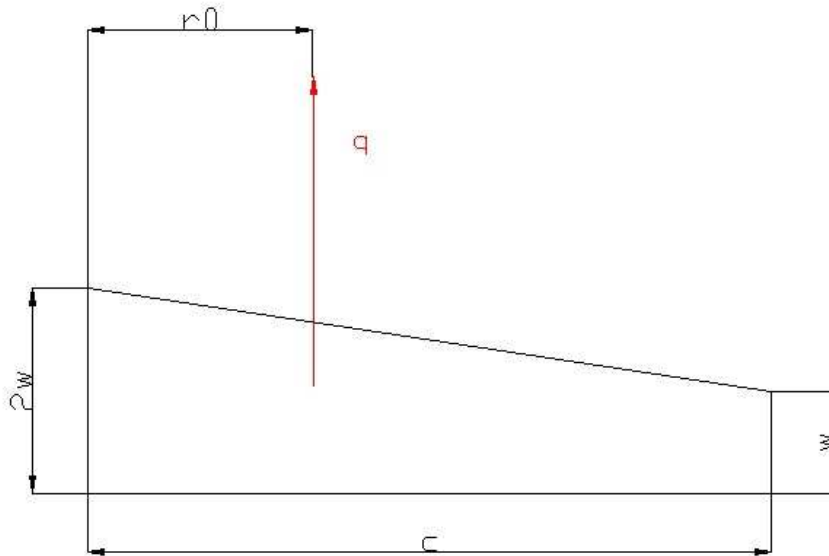
Výpočet zatížení klapky se určuje pro:

- zatížení nahoru (tomuto případu se bude věnovat tento a následující odstavce)
- zatížení dolů, kdy hodnota zatížení je rovna jedné čtvrtině při zasunutých klapkách

Průměrná hodnota zatížení po délce klapky dle předpisu:

$$\bar{w} = 0,64 \cdot n_1 \cdot \frac{W}{S} = 0,64 \cdot 4 \cdot \frac{1433}{133,26} = 27,53 [lb / sq. ft] = 1318,60 [N / m^2]$$

Průběh zatížení po hloubce má dle předpisu tvar:



Velikost liniového zatížení v jednotlivých řezech

$$q = \frac{3 \cdot \overline{w \cdot c}}{2}$$

Působíště liniového zatížení

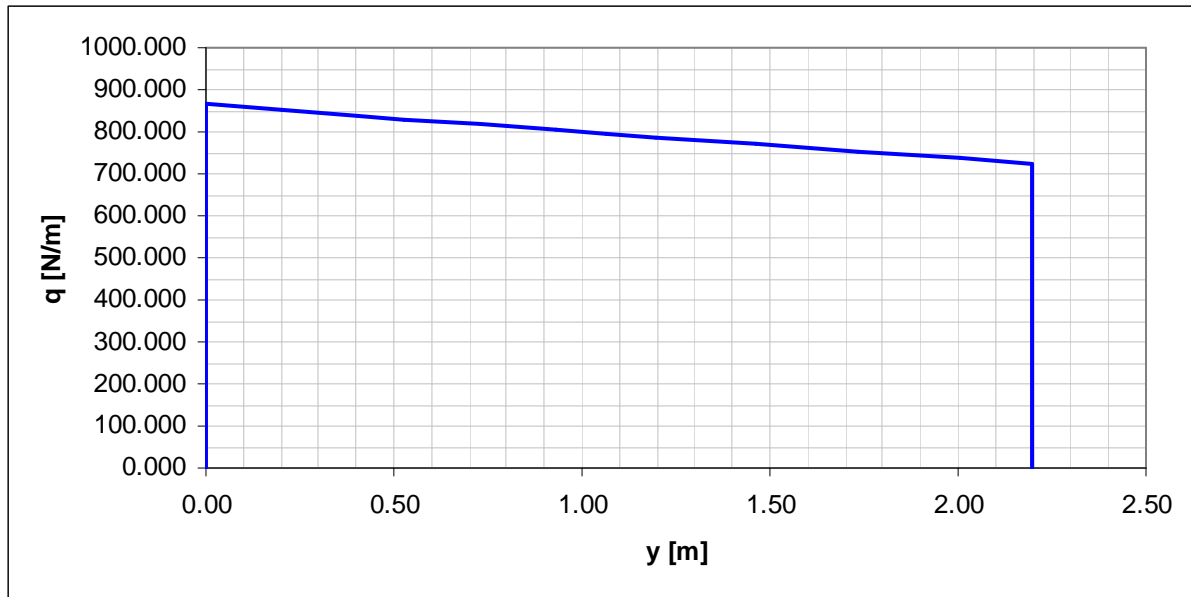
$$r_0 = \frac{4}{9} \cdot c$$

Výsledné hodnoty

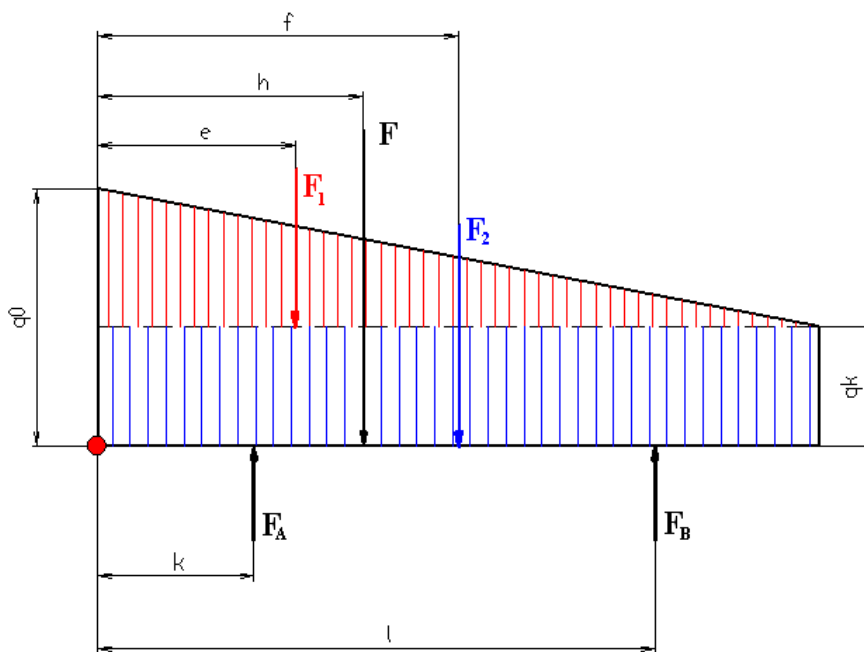
Řez	y [m]	c[m]	q [N/m]	r0 [m]	a[m]
1 - kořen	0.0000	0.4370	864.34	0.1942	0.1365
2	0.2000	0.4304	851.29	0.1913	0.1347
3 - závěs A	0.4055	0.4237	838.04	0.1883	0.1333
4 - Ovládací táhlo	0.5255	0.4199	830.52	0.1866	0.1321
5	0.7290	0.4133	817.47	0.1837	0.1305
6 - žebro	0.9320	0.4067	804.41	0.1808	0.1290
7 - Výslednice F	1.0660	0.4024	795.91	0.1788	0.1279
8	1.1970	0.3982	787.60	0.1770	0.1269
9 - žebro	1.4620	0.3896	770.59	0.1732	0.1248
10	1.7340	0.3808	753.18	0.1692	0.1227
11 - závěs B	2.0055	0.3721	735.98	0.1654	0.1206
12 - konec	2.1970	0.3660	723.91	0.1627	0.1193

Tabulka rovněž popisuje polohu závěsů a ovládacího táhla, r_0 je působíště liniového zatížení v daném řezu, a je poloha osy otáčení.

Průběh liniového zatížení po délce klapky



5.4 REAKCE V ZÁVĚSECH



$$F_1 = \frac{(q_0 - q_k)}{2} \cdot L_{křid} = \frac{(864,34 - 723,91)}{2} \cdot 2,197 = 154,26 N$$

$$e = \frac{1}{3} \cdot L_{křid} = \frac{1}{3} \cdot 2,197 = 0,732 m$$

$$F_2 = q_k \cdot L_{křid} = 723,91 \cdot 2,197 = 1590,43 N$$

$$f = \frac{1}{2} \cdot L_{křid} = \frac{1}{2} \cdot 2,197 = 1,099 m$$

$$F = F_1 + F_2 = 154,26 + 1590,43 = 1744,7 N$$

Síla F je ekvivalentní liniovému zatížení, její působíště je dáno:

$$F_1 \cdot e + F_2 \cdot f = F \cdot h \Rightarrow h = \frac{F_1 \cdot e + F_2 \cdot f}{F} = \frac{154,26 \cdot 0,732 + 1590,43 \cdot 1,099}{1744,7} = 1,066m$$

Reakce v závěsech vyplývají ze silové a momentové rovnováhy:

$$\sum F = 0: F - F_A - F_B = 0 \Rightarrow F_A = F - F_B = 1744,7 - 720,37 = 1024,33N$$

$$\sum M = 0: F_A \cdot k - F \cdot h + F_B \cdot l = 0 \Rightarrow F_B = \frac{F \cdot (h - k)}{l - k} = \frac{1744,7 \cdot (1,066 - 0,4055)}{2,055 - 0,4055} = 720,37N$$

5.5 PRŮBĚH POSOUVAJÍCÍ SÍLY A OHYBOVÉHO MOMENTU

Posouvající síla se získá integrací liniového zatížení po délce klapky:

$$T = \int_0^{l_{kl}} q(y) dy$$

Při výpočtu je nutné v místě závěsů zavést reakce spočtené v předchozím odstavci.

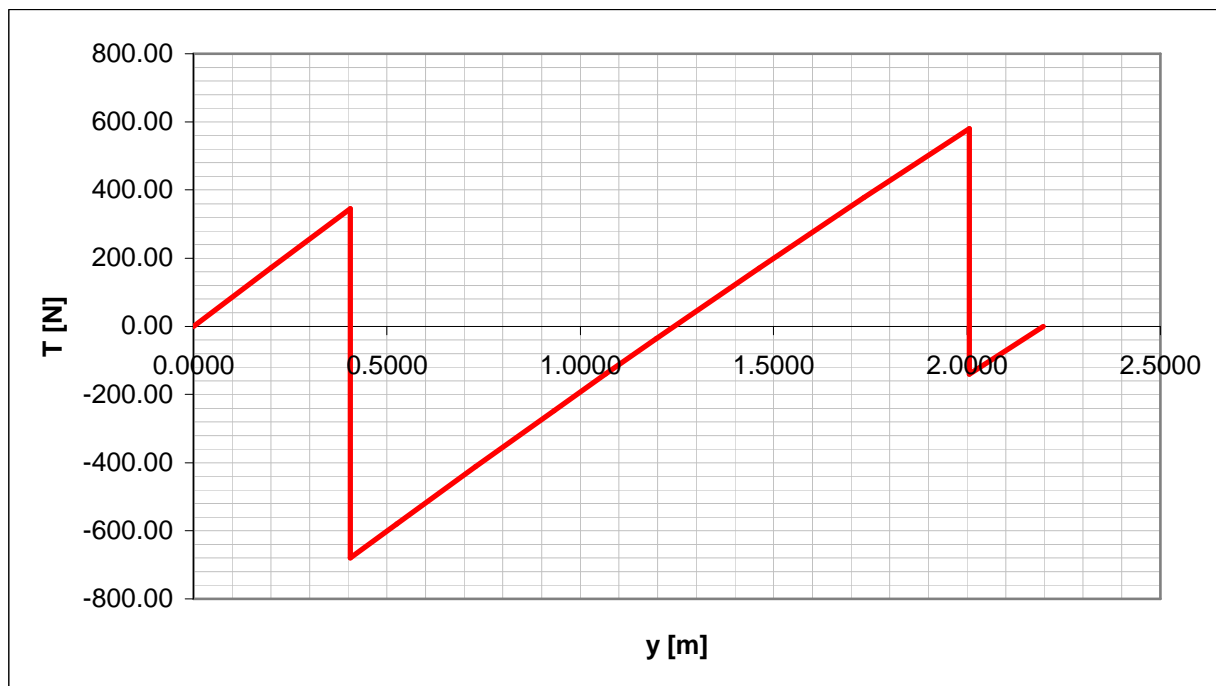
Ohybový moment se získá integrací posouvající síly po délce klapky:

$$M_o = \int_0^{l_{kl}} T(y) dy$$

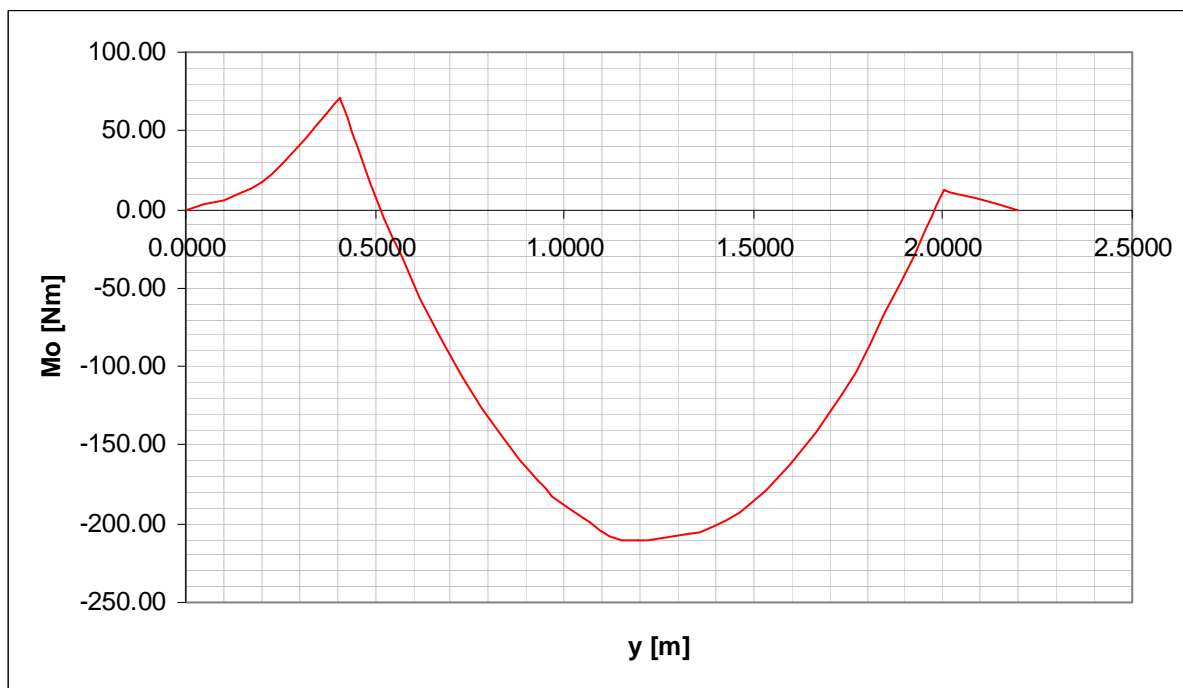
Výsledné hodnoty

Řez	y [m]	q [Nm]	T [N]	Mo [Nm]
1 - kořen	0.0000	864.342	0.00	0.00
2	0.2000	851.288	171.56	17.16
3 - závěs 1	0.4055	838.036	345.14	70.25
3 - závěs 1	0.4055	838.036	-679.19	70.25
4 - Ovládací táhlo	0.5255	830.520	-579.07	-5.25
5	0.7290	817.466	-411.39	-106.03
6 - žebro	0.9320	804.412	-246.77	-172.83
7 - Výslednice F	1.0660	795.907	-139.55	-198.71
8	1.1970	787.600	-35.83	-210.20
9 - žebro	1.4620	770.590	170.63	-192.34
10	1.7340	753.184	377.86	-117.75
11 - závěs 2	2.0055	735.977	580.02	12.29
11 - závěs 2	2.0055	735.977	-140.35	12.29
12 - konec	2.1970	723.911	0.00	0.00

Průběh posouvající síly



Průběh ohybového momentu



5.6 ZÁVĚSOVÝ MOMENT KLAPKY A REAKCE V OVLÁDACÍM TÁHLE

Ekvivalentní síla F vytváří závěsový moment na rameni:

$$r = r_0 - a$$

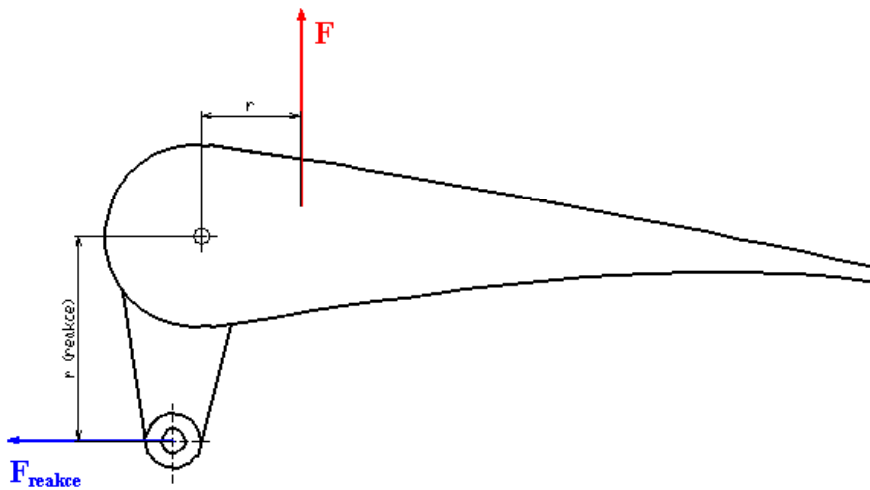
r_0působíště po hloubce klapky v místě působíště síly F po délce klapky
 a vzdálenost od náběžné hrany po osu otáčení v místě působíště síly F

$$r = r_0 - a = 0,1788 - 0,1279 = 0,0509m$$

Závěsový moment

$$M_{zav\acute{e}s} = F \cdot r = 1744,7 \cdot 0,0509 = 88,88Nm$$

Reakce v ovládacím táhle



Reakce působí na rameni $r_{páky} = 0,145m$ (odečteno z výkresu).
 Reakce se stanoví z momentové rovnováhy dle obrázku:

$$F \cdot r = F_{reakce} \cdot r_{páky} \Rightarrow F_{reakce} = \frac{F \cdot r}{r_{páky}} = \frac{1744,7 \cdot 0,0509}{0,145} = 612,98N$$

5.7 PRŮBĚH KROUTÍCÍHO MOMENTU

Kroutící moment je určen vztahem:

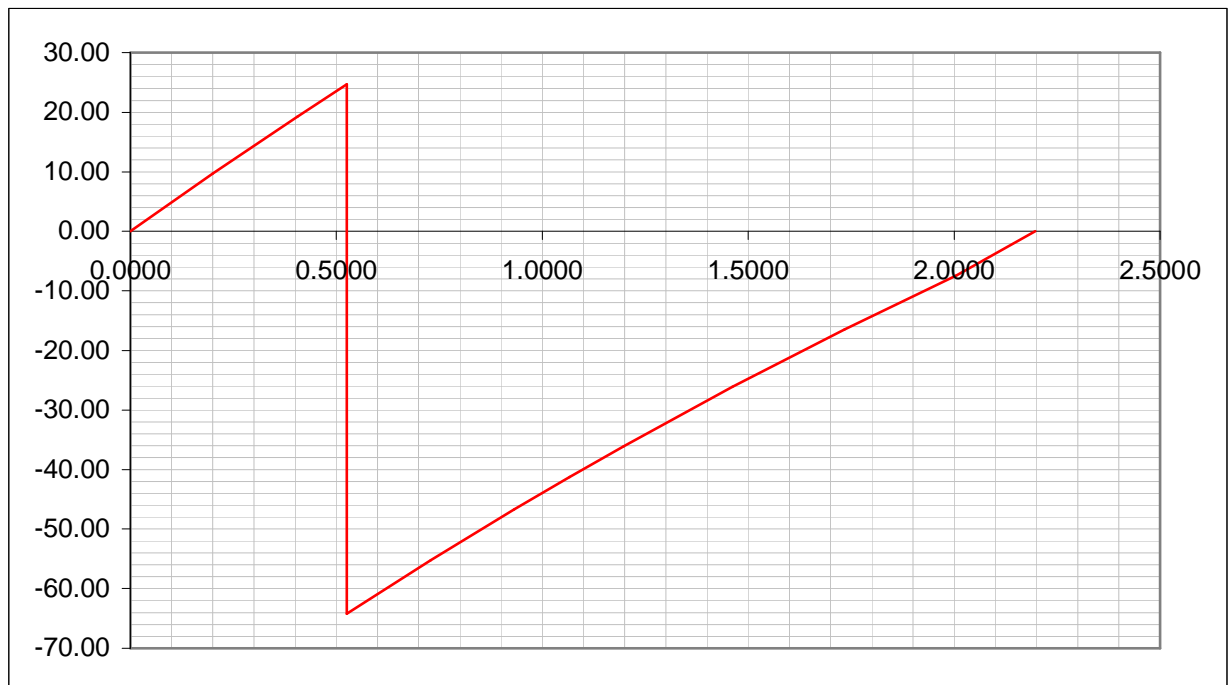
$$M_K = \int_0^{l_{kl}} q(y) \cdot r(y) \cdot dy$$

Do průběhu kroutícího momentu je nutno v místě ovládacího táhla zavést závěsový moment.

Výsledné hodnoty

Řez	y [m]	q [Nm]	r0 [m]	a[m]	r [m]	Mk [Nm]
1 - kořen	0.0000	864.34	0.1942	0.1365	0.0577	0.00
2	0.2000	851.29	0.1913	0.1347	0.0566	9.71
3 - závěs 1	0.4055	838.04	0.1883	0.1333	0.0550	19.26
4 - Ovládací táhlo	0.5255	830.52	0.1866	0.1321	0.0545	24.72
4 - Ovládací táhlo	0.5255	830.52	0.1866	0.1321	0.0545	-64.17
5	0.7290	817.47	0.1837	0.1305	0.0532	-55.25
6 - žebro	0.9320	804.41	0.1808	0.1290	0.0518	-46.73
7 - Výslednice F	1.0660	795.91	0.1788	0.1279	0.0509	-41.27
8	1.1970	787.60	0.1770	0.1269	0.0501	-36.07
9 - žebro	1.4620	770.59	0.1732	0.1248	0.0484	-26.09
10	1.7340	753.18	0.1692	0.1227	0.0465	-16.44
11 - závěs 2	2.0055	735.98	0.1654	0.1206	0.0448	-7.39
12 - konec	2.1970	723.91	0.1627	0.1193	0.0434	0.00

Průběh kroutícího momentu



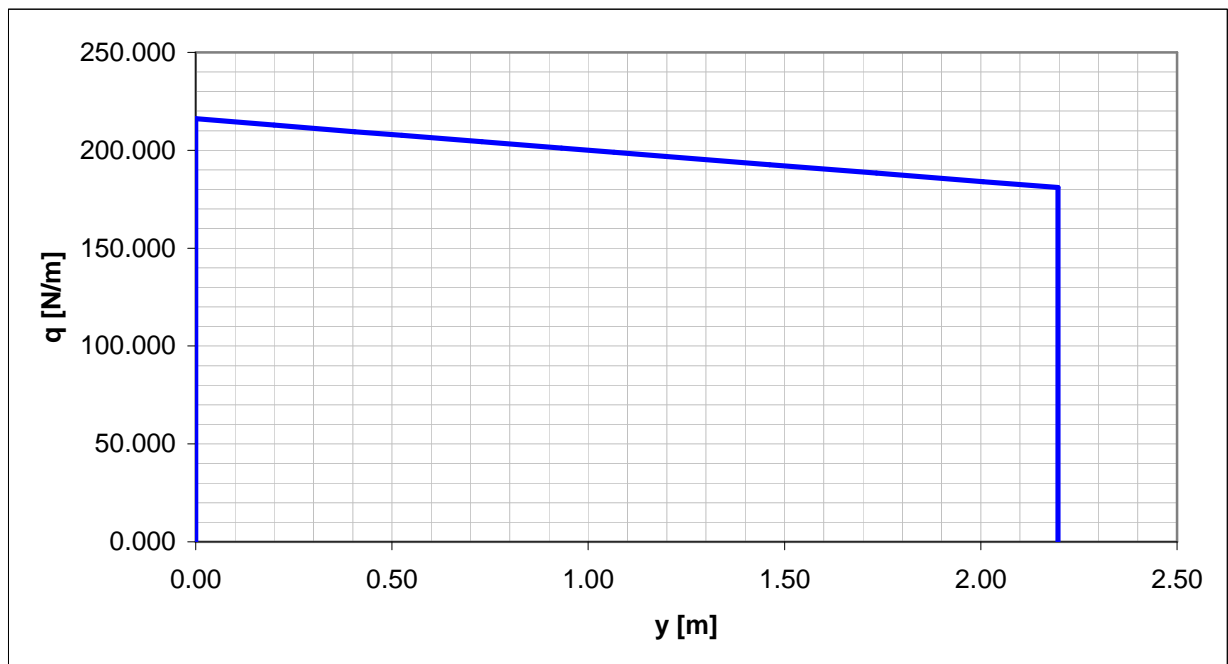
5.8 SOUHRN VÝLEDKŮ PRO ZATÍŽENÍ DOLŮ

Jak již bylo řečeno, při vysunutých klapkách se uvažuje zatížení, jehož hodnota je rovna jedné čtvrtině zatížení při vysunutých klapkách.

$$\bar{w} = \frac{1}{4} \cdot 0,64 \cdot n_1 \cdot \frac{W}{S} = \frac{1}{4} \cdot 0,64 \cdot 4 \cdot \frac{1433}{133,26} = 6,88[\text{lb} / \text{sq. ft}] = 329,65[\text{N} / \text{m}^2]$$

A) Liniové zatížení

Řez	y [m]	c[m]	q [N/m]	r0 [m]	a[m]
1 - kořen	0.0000	0.4370	216.09	0.1942	0.1365
2	0.2000	0.4304	212.82	0.1913	0.1347
3 - závěs 1	0.4055	0.4237	209.51	0.1883	0.1333
4 - Ovládací táhlo	0.5255	0.4199	207.63	0.1866	0.1321
5	0.7290	0.4133	204.37	0.1837	0.1305
6 - žebro	0.9320	0.4067	201.10	0.1808	0.1290
7 - Výslednice F	1.0660	0.4024	198.98	0.1788	0.1279
8	1.1970	0.3982	196.90	0.1770	0.1269
9 - žebro	1.4620	0.3896	192.65	0.1732	0.1248
10	1.7340	0.3808	188.30	0.1692	0.1227
11 - závěs 2	2.0055	0.3721	183.99	0.1654	0.1206
12 - konec	2.1970	0.3660	180.98	0.1627	0.1193

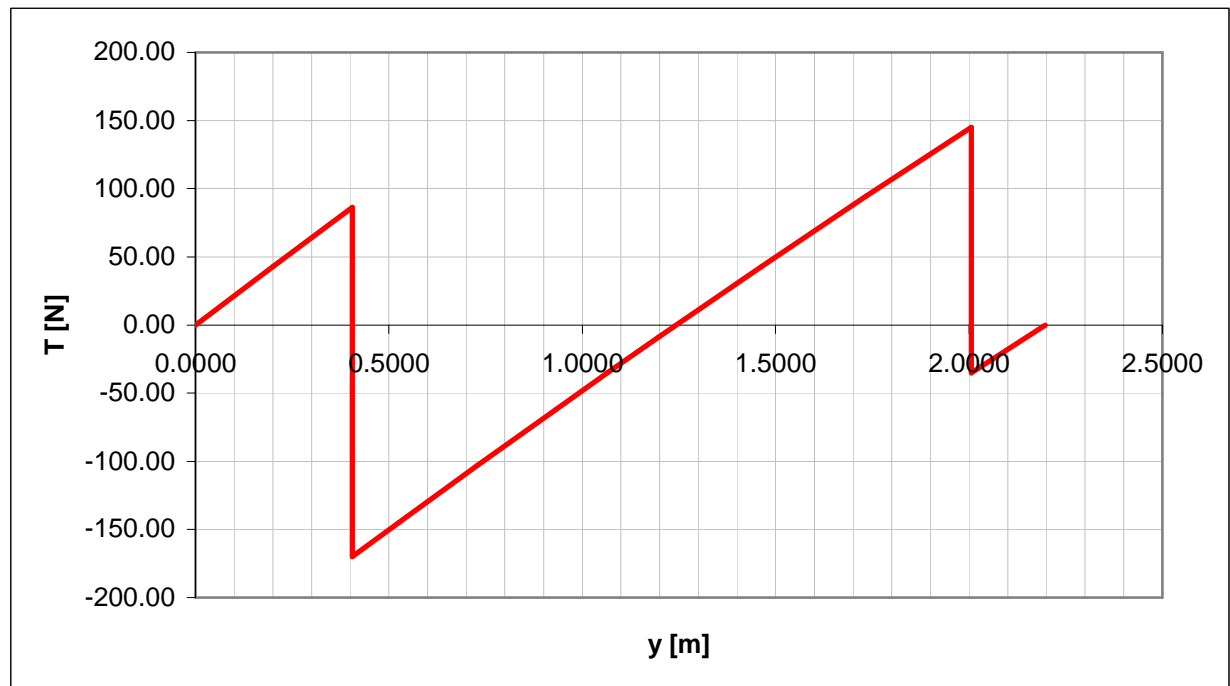


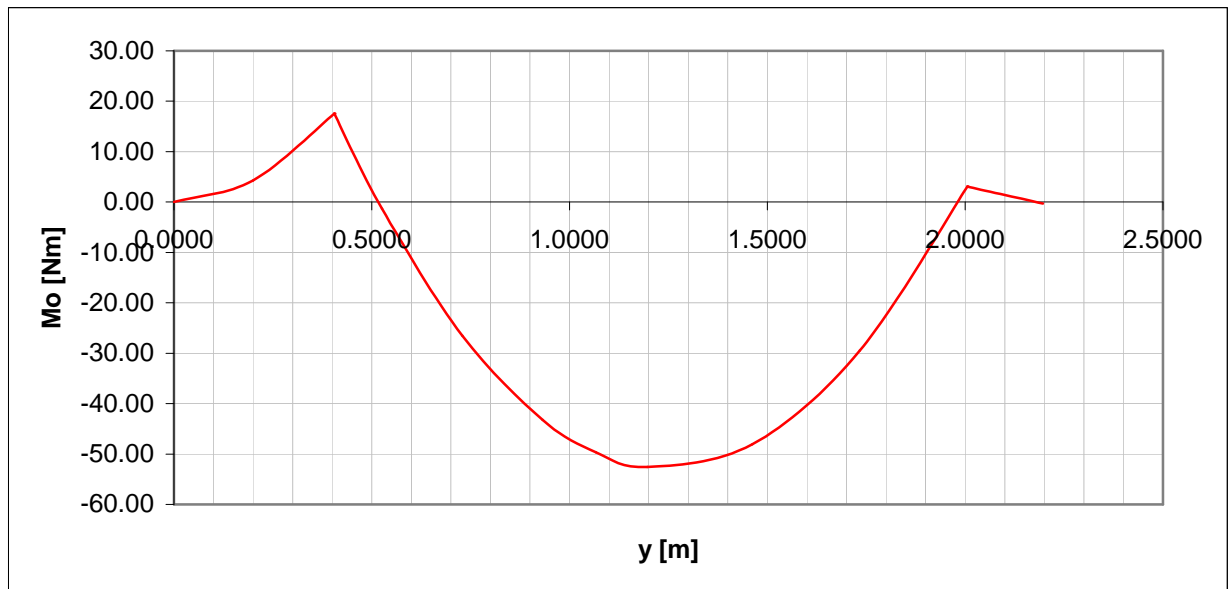
B) Reakce v závěsech

závěs A		závěs B	
k [m]	FA [N]	l [m]	FB [N]
0.4055	256.08	2.0055	180.09

C) Posouvající síla, ohybový moment

Řez	y [m]	q [N/m]	T [N]	Mo [Nm]
1 - kořen	0.0000	216.086	0.00	0.00
2	0.2000	212.822	42.89	4.29
3 - závěs 1	0.4055	209.509	86.29	17.56
3 - závěs 1	0.4055	209.509	-169.80	17.56
4 - Ovládací táhlo	0.5255	207.630	-144.77	-1.31
5	0.7290	204.367	-102.85	-26.51
6 - žebro	0.9320	201.103	-61.69	-43.21
7 - Výslednice F	1.0660	198.977	-34.89	-49.68
8	1.1970	196.900	-8.96	-52.55
9 - žebro	1.4620	192.647	42.66	-48.09
10	1.7340	188.296	94.47	-29.44
11 - závěs 2	2.0055	183.994	145.00	3.07
11 - závěs 2	2.0055	183.994	-35.09	3.07
12 - konec	2.1970	180.978	-0.14	-0.30



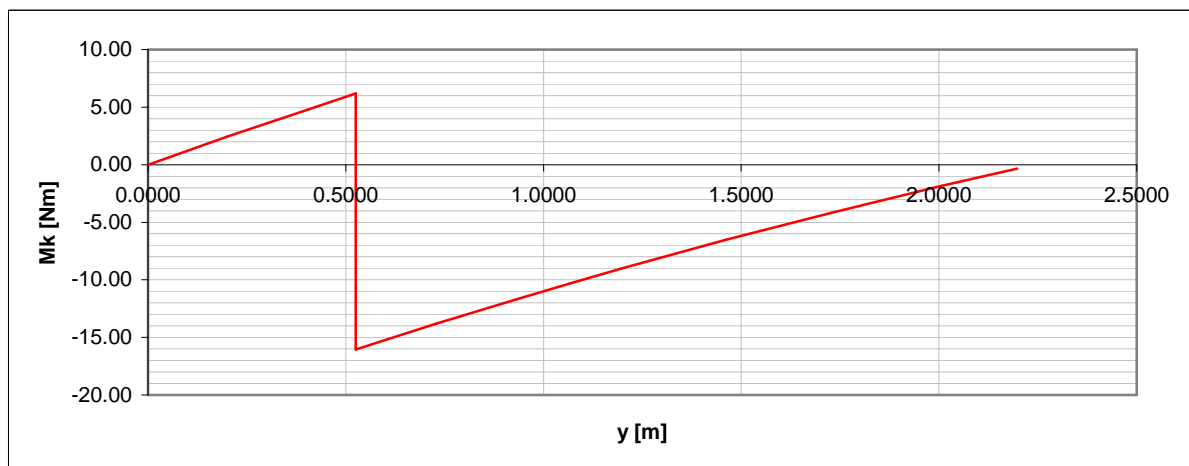


D) Závěsový moment, reakce v ovládacím táhle

Mz [Nm]	Freakce [N]
22.22	153.25

E) Krouticí moment

Řez	y [m]	q [N/m]	r0 [m]	a[m]	r [m]	Mk [Nm]
1 - kořen	0.0000	216.09	0.1942	0.1365	0.0577	0.00
2	0.2000	212.82	0.1913	0.1347	0.0566	2.43
3 - závěs 1	0.4055	209.51	0.1883	0.1333	0.0550	4.81
4 - Ovládací táhle	0.5255	207.63	0.1866	0.1321	0.0545	6.18
4 - Ovládací táhle	0.5255	207.63	0.1866	0.1321	0.0545	-16.04
5	0.7290	204.37	0.1837	0.1305	0.0532	-13.81
6 - žebro	0.9320	201.10	0.1808	0.1290	0.0518	-11.68
7 - Výslednice F	1.0660	198.98	0.1788	0.1279	0.0509	-10.32
8	1.1970	196.90	0.1770	0.1269	0.0501	-9.02
9 - žebro	1.4620	192.65	0.1732	0.1248	0.0484	-6.52
10	1.7340	188.30	0.1692	0.1227	0.0465	-4.11
11 - závěs 2	2.0055	183.99	0.1654	0.1206	0.0448	-1.85
12 - konec	2.1970	180.98	0.1627	0.1193	0.0434	-0.33



6. VÝPOČET ZATÍŽENÍ VODOROVNÝCH OCASNÍCH PLOCH

6.1 POPIS VODOROVNÝCH OCASNÍCH PLOCH

Vodorovné ocasní plochy jsou klasické koncepce. Použitým profilem je symetrický NACA 0012. Rozpětí VOP je 2950mm, konstantní hloubka činí 899mm, přičemž hloubka stabilizátoru je 541mm, výškového kormidla potom 358mm. Vzdálenost od náběžné hrany výškového kormidla po osu otáčení je 40mm.

6.2 LINIOVÉ ZATÍŽENÍ VOP

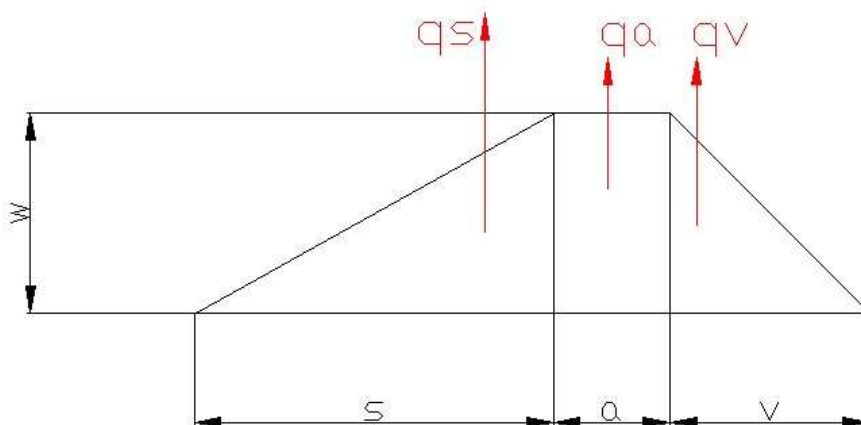
Výpočet VOP se určuje pro:

- zatížení nahoru a dolů (tomuto případu se bude věnovat tento a následující odstavce)
- nesymetrické zatížení, kdy na jedné straně VOP je 100% zatížení, na druhé straně 65%

Průměrná hodnota zatížení po délce VOP dle předpisu:

$$\bar{w} = 4,8 + 0,534 \cdot n_1 \cdot \frac{W}{S} = 4,8 + 0,534 \cdot 4 \cdot \frac{1433}{133,26} = 27,77 [\text{lb} / \text{sq. ft}] = 1330,09 [\text{N} / \text{m}^2]$$

Průběh zatížení po hloubce má podle předpisu tvar:



s.....hloubka stabilizátoru

a.....vzdálenost od náběžné hrany výškového kormidla po osu otáčení

v.....výškové kormidlo za osou otáčení

Velikost liniového zatížení v jednotlivých řezech

$$q_s = \bar{w} \cdot \frac{s}{2}$$

$$q_a = \bar{w} \cdot a$$

$$q_v = \bar{w} \cdot \frac{v}{2}$$

Celkové zatížení výškového kormidla je dáno:

$$q_{VK} = q_a + q_v$$

Celkové zatížení vodorovných ocasních ploch je:

$$q = q_s + q_a + q_v$$

Vzhledem k tomu, že hloubka VOP je konstantní, má liniové zatížení po rozpětí obdélníkový průběh.

Výsledné hodnoty

					Stabilizátor	Výškové kormidlo			Celá VOP
Řez	y [m]	s [m]	a [m]	v [m]	qs [N/m]	qa [N/m]	qv [N/m]	qvk [N/m]	q [N/m]
kořen	0.000	0.541	0.040	0.318	359.79	53.20	211.48	264.69	624.48
konec	1.475	0.541	0.040	0.318	359.79	53.20	211.48	264.69	624.48

6.3 POSOUVAJÍCÍ SÍLA A OHYBOVÝ MOMENT PRO CELOU VOP

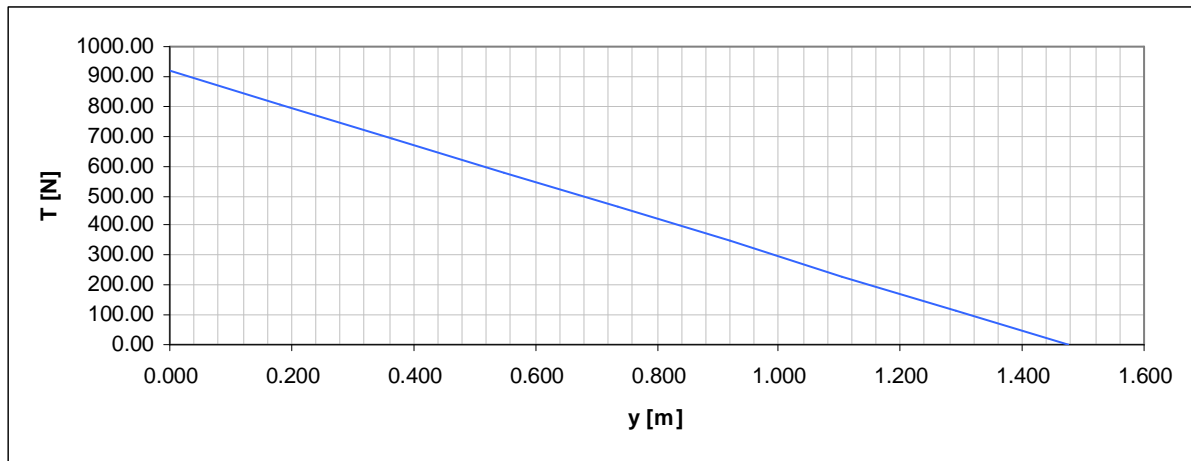
Posouvající síla se získá integrací liniového zatížení po délce polorozpětí VOP:

$$T = \int_0^{L_{VOP}/2} q(y) dy$$

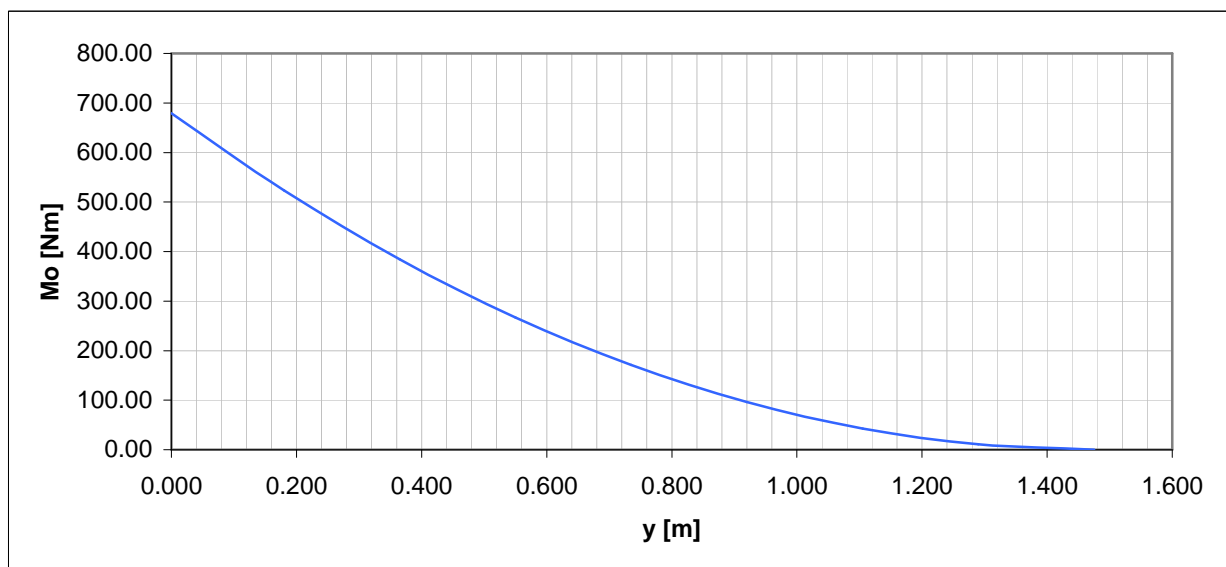
Ohybový moment se získá integrací posouvající síly po délce polorozpětí VOP:

$$M_o = \int_0^{L_{VOP}/2} T(y) dy$$

Průběh posouvající síly



Průběh ohybového momentu



6.4 REAKCE V ZÁVĚSECH VÝŠKOVÉHO KORMIDLA

Při výpočtu postupujeme shodně jako u křídélka nebo klapky a reakce jsou určeny pomocí silové a momentové rovnováhy s ekvivalentní silou liniového zatížení F .

Protože má liniové zatížení obdélníkový průběh, leží ekvivalentní síla F v polovině polorozpětí. Závěsy jsou umístěny ve vzdálenosti 0,075 m a 1,475 m (na konci) od kořene.

$$F = q_{VK} \cdot L_{VOP}$$

$$F_A = F - F_B$$

$$F_B = F \cdot \frac{(h - k)}{(l - k)}$$

Výslednice liniového zatížení		závěs A		závěs B	
F [N]	h [m]	k [m]	FA	l [m]	FB
390.41	0.738	0.075	205.66	1.475	184.75

6.5 PRŮBĚH POSOUVAJÍCÍ SÍLY A OHYBOVÉHO MOMENTU VÝŠKOVÉHO KORMIDLA

Posouvající síla je dána integrací liniového zatížení výškového kormidla po polorozpětí, opět je nutno zavést v místě závěsů reakce :

$$T = \int_0^{L_{VK}/2} q_{VK}(y) dy$$

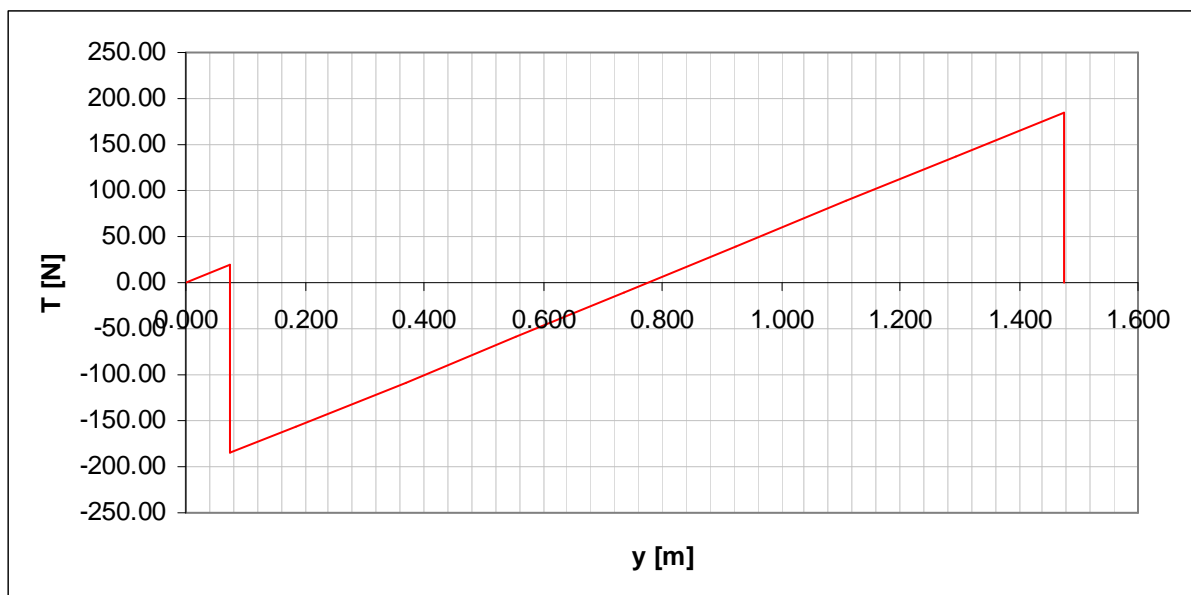
Ohybový moment se získá integrací posouvající síly po délce polorozpětí:

$$M_o = \int_0^{L_{VK}/2} T(y) dy$$

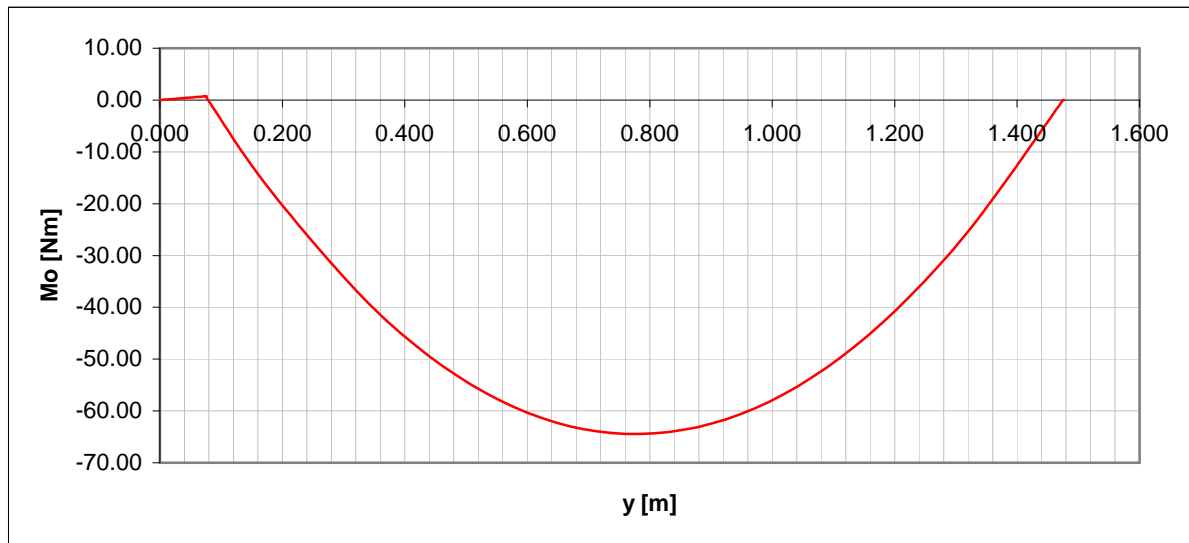
Výsledné hodnoty

Řez	y [m]	qVK [N/m]	T [N]	Mo [Nm]
1 - kořen	0.000	264.69	0.00	0.00
2 - závěs, táhlo	0.075	264.69	19.85	0.74
2 - závěs, táhlo	0.075	264.69	-185.81	0.74
3	0.185	264.69	-156.70	-18.09
4	0.370	264.69	-107.73	-42.55
5	0.555	264.69	-58.76	-57.95
6 - Výslednice F	0.738	264.69	-10.46	-64.27
7	0.925	264.69	39.17	-61.58
8	1.110	264.69	88.14	-49.80
9	1.295	264.69	137.11	-28.97
10 - konec (závěs)	1.475	264.69	184.75	0.00
10 - konec (závěs)	1.475	264.69	0.00	0.00

Průběh posouvající síly



Průběh ohybového momentu



6.6 ZÁVĚSOVÝ MOMENT VÝŠKOVÉHO KORMIDLA A REAKCE V OVLÁDACÍM TÁHLE

Ekvivalentní síla F vytváří závěsový moment na rameni:

$$r = r_0 - a$$

r_0působíště po hloubce klapky v místě působíště síly F po délce výškového kormidla
 a vzdálenost od náběžné hrany po osu otáčení v místě působíště síly F

$$r_0 = \frac{1/2 \cdot a \cdot q_a + (a + 1/3 \cdot v) \cdot q_v}{q_a + q_v}$$

Závěsový moment

$$M_{z\u00e1v\u00e9s} = F \cdot r$$

Reakce v ovládacím táhle

$$F_{reakce} = \frac{M_{z\u00e1v\u00e9s}}{r_{p\u00e1ky}}, \text{ kde rameno p\u00e1ky } r_{p\u00e1ky} = 0,053\text{m}$$

F [N]	r0 [m]	a [m]	r [m]	Mz [Nm]	r páky [m]	Freakce [N]
390.41	0.121	0.040	0.081	31.50	0.053	594.27

6.7 PRŮBĚH KROUTÍCÍHO MOMENTU

Kroutící moment je určen vztahem:

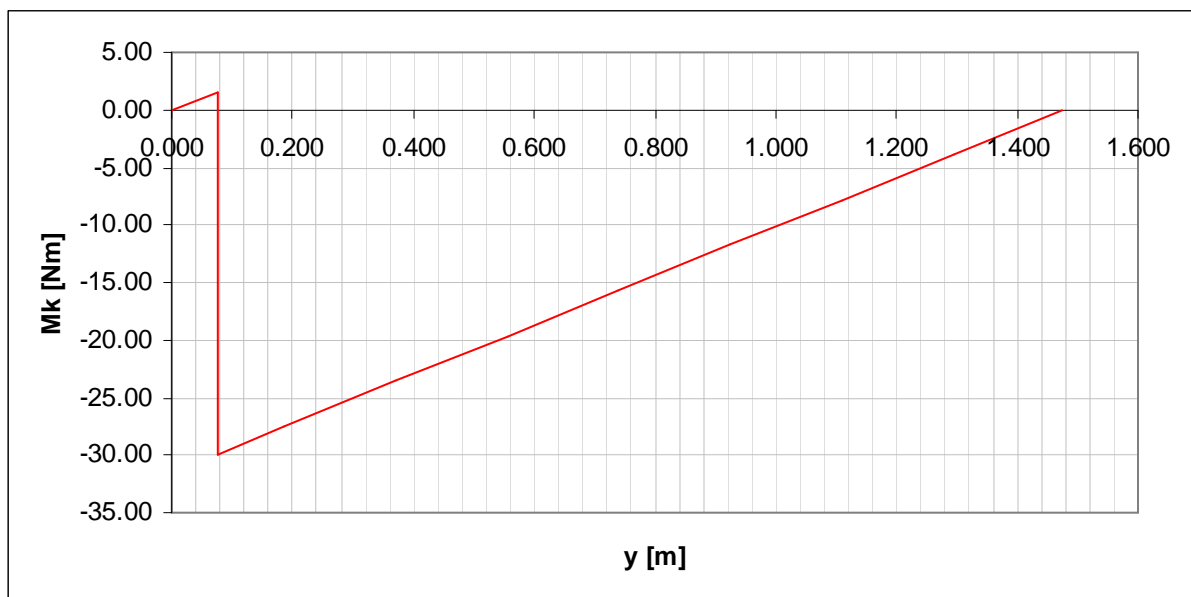
$$M_K = \int_0^{L_{\text{vop}}/2} q(y) \cdot r(y) \cdot dy$$

Do průběhu kroutícího momentu je nutno v místě ovládacího táhla zavést závěsový moment.

Výsledné hodnoty

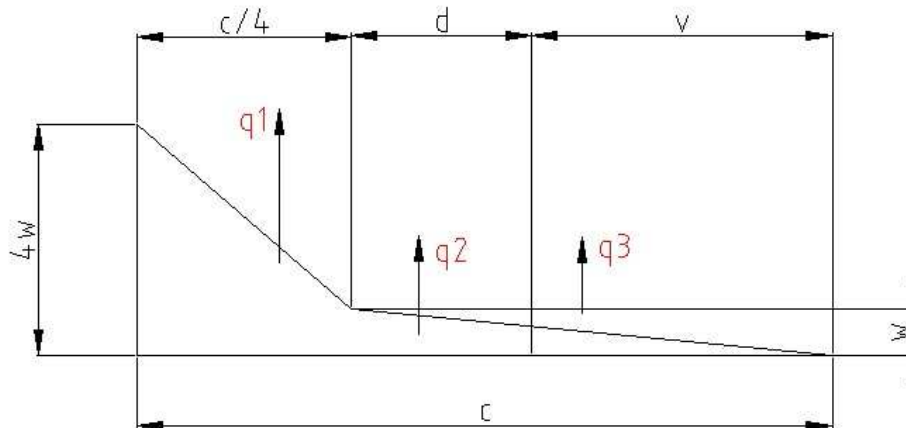
Řez	y [m]	q[N/m]	r0[m]	a[m]	r [m]	Mk [Nm]
1 - kořen	0.000	264.69	0.121	0.040	0.081	0.00
2 - závěs, táhlo	0.075	264.69	0.121	0.040	0.081	1.60
2 - závěs, táhlo	0.075	264.69	0.121	0.040	0.081	-29.89
3	0.185	264.69	0.121	0.040	0.081	-27.55
4	0.370	264.69	0.121	0.040	0.081	-23.60
5	0.555	264.69	0.121	0.040	0.081	-19.65
6 - Výslednice F	0.738	264.69	0.121	0.040	0.081	-15.74
7	0.925	264.69	0.121	0.040	0.081	-11.74
8	1.110	264.69	0.121	0.040	0.081	-7.79
9	1.295	264.69	0.121	0.040	0.081	-3.84
10 - konec (závěs)	1.475	264.69	0.121	0.040	0.081	0.00

Průběh kroutícího momentu



6.8 SOUHRN VÝLEDKŮ PRO NESYMETRICKÉ ZATÍŽENÍ

Liniové zatížení má dle předpisu průběh po hloubce:



d.....hloubka zbývající části stabilizátoru za čtvrtinovou hloubkou VOP
v.....hloubka výškového kormidla

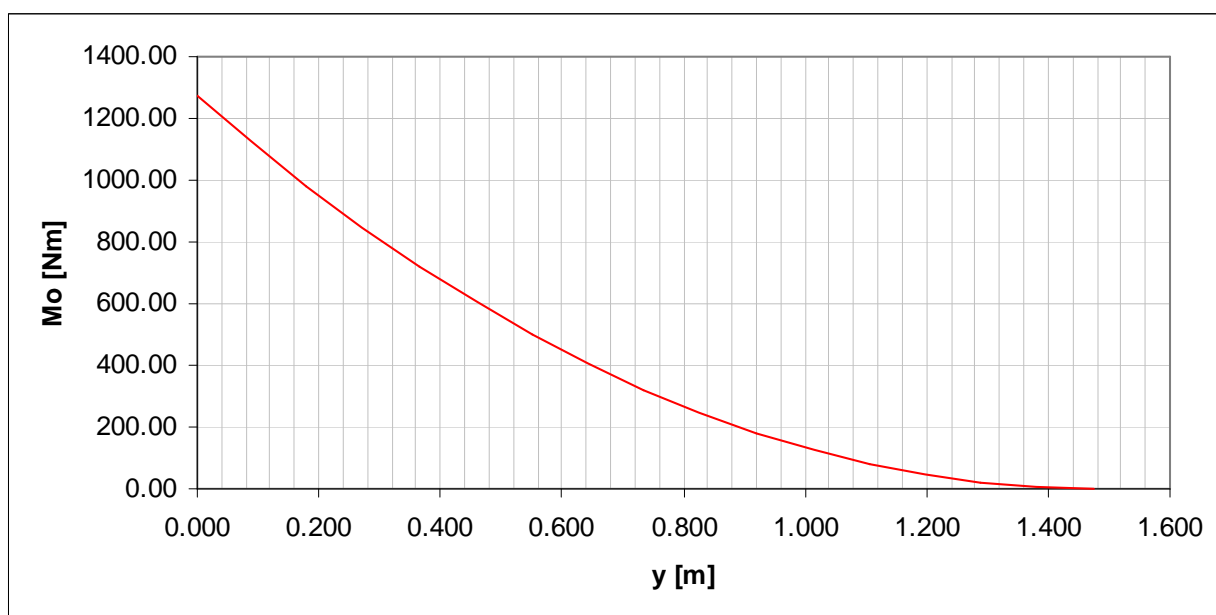
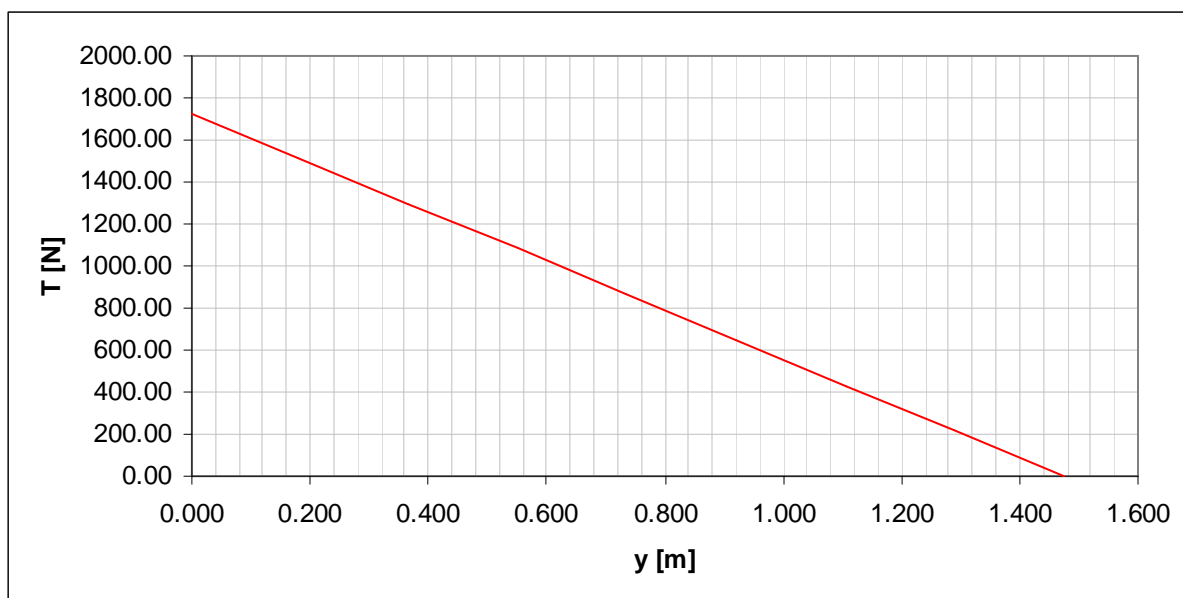
6.8.1 100 % zatížení na jedné straně

A) Liniové zatížení

Řez	y [m]	c/4 [m]	d [m]	v [m]	Stabilizátor			VK	Celá VOP
					q1 [N/m]	q2 [N/m]	qs [N/m]	qvk [N/m]	q [N/m]
kořen	0.000	0.225	0.316	0.358	747.34	309.52	1056.86	112.29	1169.15
konec	1.475	0.225	0.316	0.358	747.34	309.52	1056.86	112.29	1169.15

B) Posouvající síla a ohybový moment celé VOP

Řez	y [m]	q [N/m]	T [N]	Mo [Nm]
1 - kořen	0.000	1169.15	1724.50	1271.82
2	0.180	1169.15	1514.05	980.35
3	0.365	1169.15	1297.76	720.25
4	0.550	1169.15	1081.46	500.18
5	0.735	1169.15	865.17	320.11
6	0.920	1169.15	648.88	180.06
7	1.105	1169.15	432.59	80.03
8	1.290	1169.15	216.29	20.01
9 - konec	1.475	1169.15	0.00	0.00

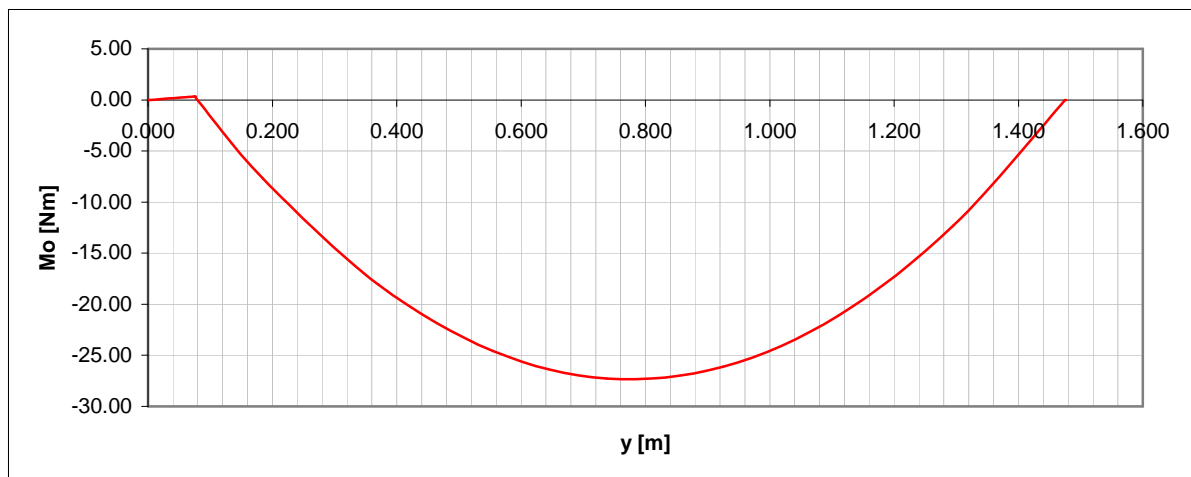
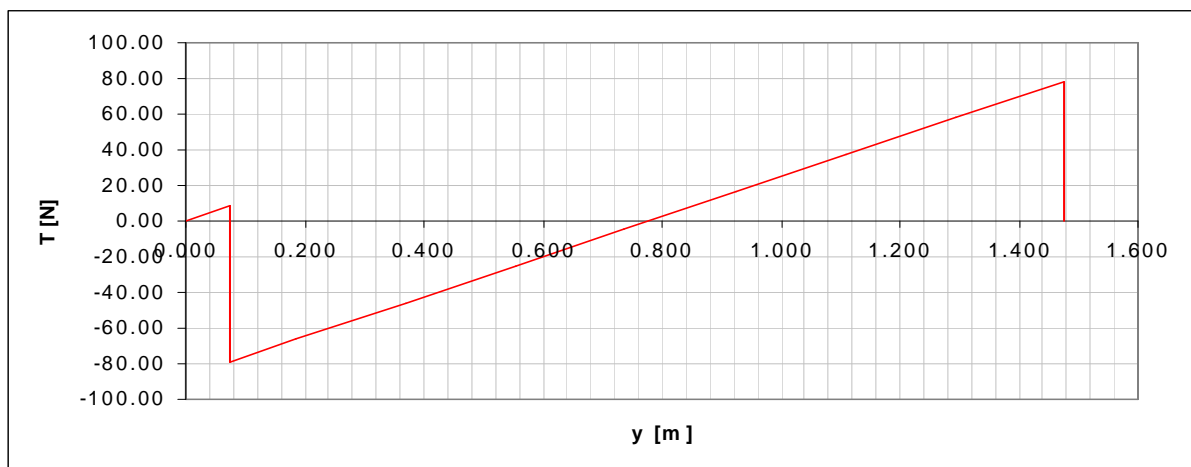


C) Reakce v závěsech výškového kormidla

Výslednice liniového zatížení		zavěs A		zavěs B	
F [N]	h [m]	k [m]	FA	l [m]	FB
165.63	0.738	0.075	87.25	1.475	78.38

D) Posouvající síla a ohybový moment výškového kormidla

Řez	y [m]	q [N/m]	T [N]	Mo [Nm]
1 - kořen	0.000	112.29	0.00	0.00
2 - závěs, táhlo	0.075	112.29	8.42	0.32
2 - závěs, táhlo	0.075	112.29	-78.83	0.32
3	0.185	112.29	-66.48	-7.68
4	0.370	112.29	-45.70	-18.05
5	0.555	112.29	-24.93	-24.59
6 - Výslednice F	0.738	112.29	-4.44	-27.27
7	0.925	112.29	16.62	-26.12
8	1.110	112.29	37.39	-21.13
9	1.295	112.29	58.17	-12.29
10 - konec (závěs)	1.475	112.29	78.38	0.00
10 - konec (závěs)	1.475	112.29	0.00	0.00

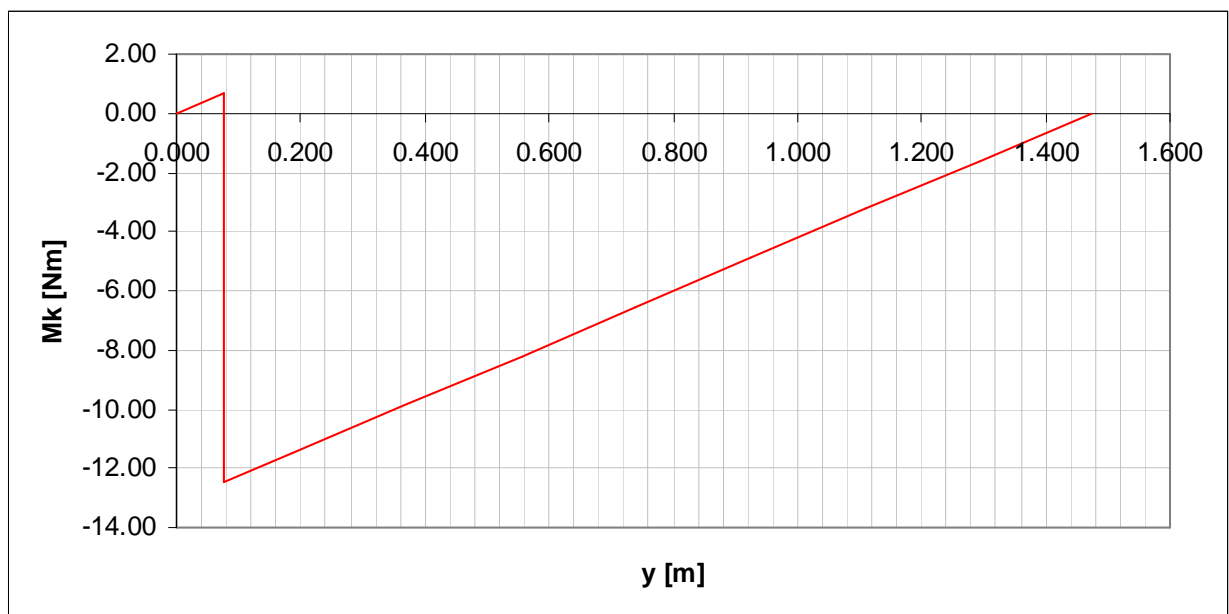


E) Závěsový moment a reakce v ovládacím táhle

F [N]	r0 [m]	a [m]	r [m]	Mz [Nm]	r páky [m]	Freakce [N]
165.63	0.119	0.040	0.079	13.14	0.053	247.92

F) Kroutící moment výškového kormidla

Řez	y [m]	q[N/m]	r0[m]	a[m]	r [m]	Mk [Nm]
1 - kořen	0.000	112.29	0.119	0.040	0.079	0.00
2 - závěs, táhlo	0.075	112.29	0.119	0.040	0.079	0.67
2 - závěs, táhlo	0.075	112.29	0.119	0.040	0.079	-12.47
3	0.185	112.29	0.119	0.040	0.079	-11.49
4	0.370	112.29	0.119	0.040	0.079	-9.84
5	0.555	112.29	0.119	0.040	0.079	-8.20
6 - Výslednice F	0.738	112.29	0.119	0.040	0.079	-6.57
7	0.925	112.29	0.119	0.040	0.079	-4.90
8	1.110	112.29	0.119	0.040	0.079	-3.25
9	1.295	112.29	0.119	0.040	0.079	-1.60
10 - konec (závěs)	1.475	112.29	0.119	0.040	0.079	0.00



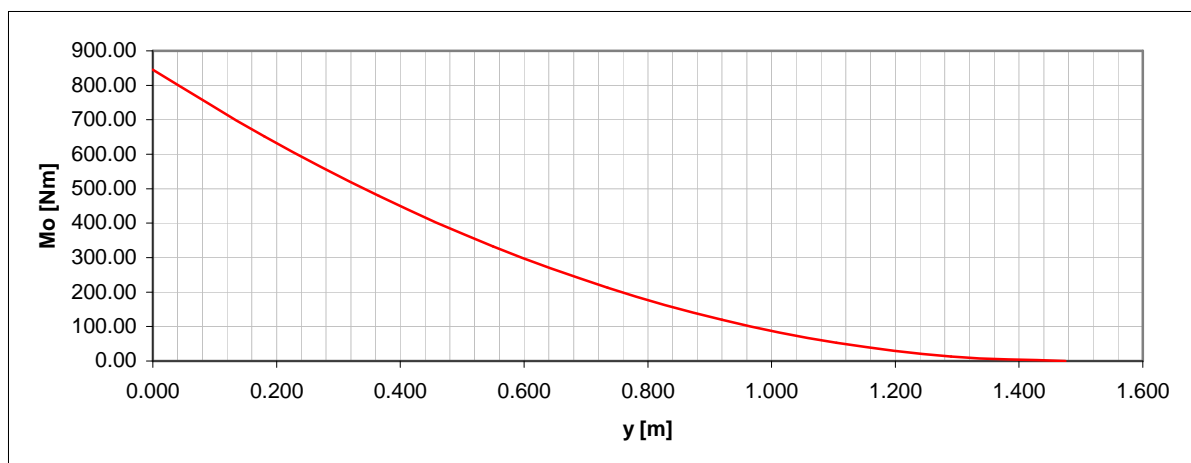
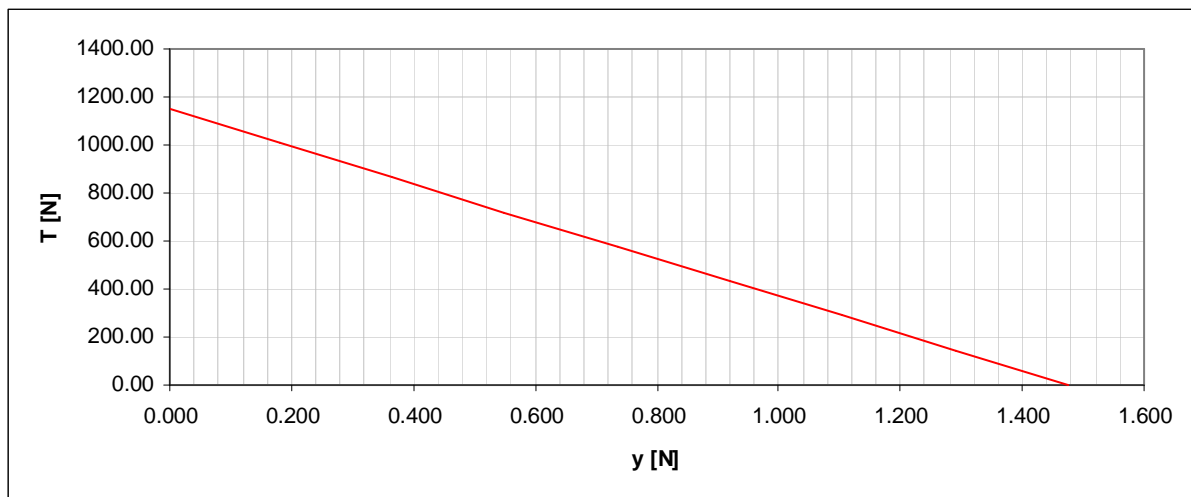
6.8.2 65 % zatížení na druhé straně

A) Liniové zatížení

Řez	y [m]	c/4 [m]	d [m]	v [m]	Stabilizátor			VK	Celá VOP
					q1 [N/m]	q2 [N/m]	qs [N/m]	qvk [N/m]	q [N/m]
kořen	0.000	0.225	0.316	0.358	485.77	209.30	695.07	82.17	777.24
konec	1.475	0.225	0.316	0.358	485.77	209.30	695.07	82.17	777.24

B) Posouvající síla a ohybový moment celé VOP

Řez	y [m]	q [N/m]	T [N]	Mo [Nm]
1 - kořen	0.000	777.24	1146.43	845.49
2	0.180	777.24	1006.53	651.73
3	0.365	777.24	862.74	478.82
4	0.550	777.24	718.95	332.51
5	0.735	777.24	575.16	212.81
6	0.920	777.24	431.37	119.70
7	1.105	777.24	287.58	53.20
8	1.290	777.24	143.79	13.30
9 - konec	1.475	777.24	0.00	0.00

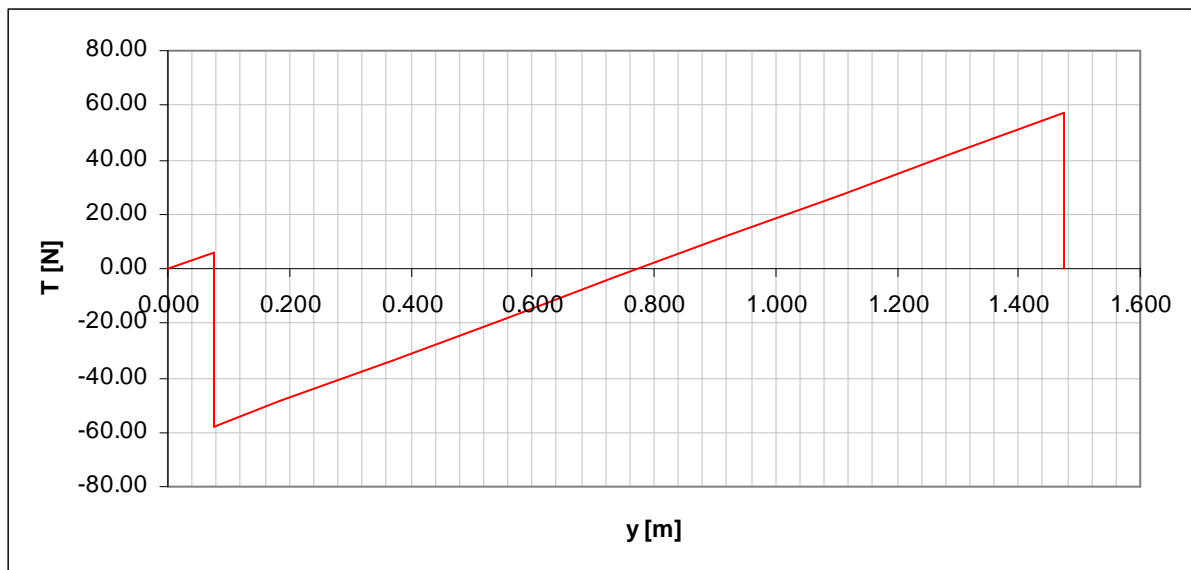


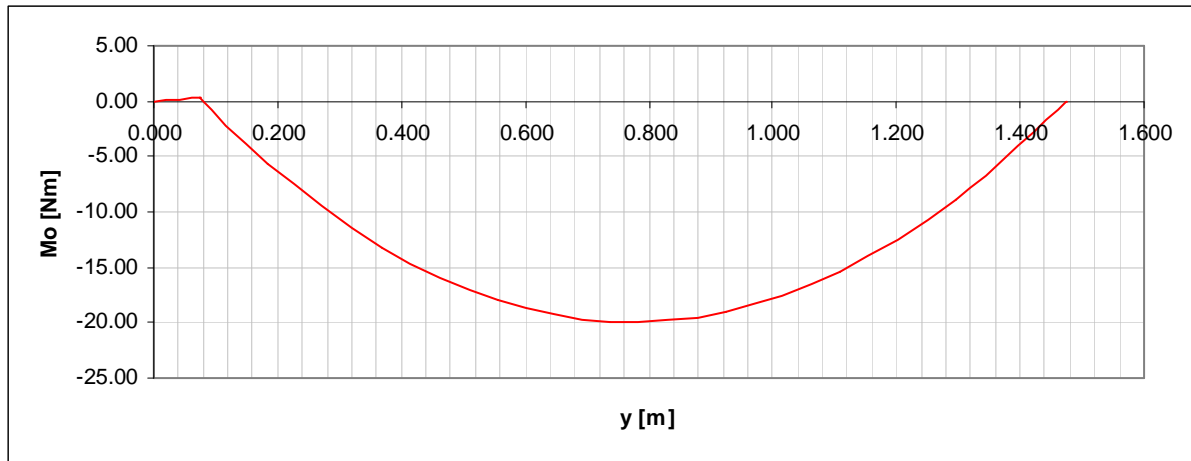
C) Reakce v závěsech výškového kormidla

Výslednice liniového zatížení		závěs A		závěs B	
F [N]	h [m]	k [m]	FA	l [m]	FB
121.20	0.738	0.075	63.85	1.475	57.35

D) Posouvající síla a ohybový moment výškového kormidla

Řez	y [m]	q [N/m]	T [N]	Mo [Nm]
1 - kořen	0.000	82.17	0.00	0.00
2 - závěs, táhlo	0.075	82.17	6.16	0.23
2 - závěs, táhlo	0.075	82.17	-57.68	0.23
3	0.185	82.17	-48.65	-5.62
4	0.370	82.17	-33.44	-13.21
5	0.555	82.17	-18.24	-17.99
6 - Výslednice F	0.738	82.17	-3.25	-19.95
7	0.925	82.17	12.16	-19.12
8	1.110	82.17	27.36	-15.46
9	1.295	82.17	42.56	-8.99
10 - konec (závěs)	1.475	82.17	57.35	0.00
10 - konec (závěs)	1.475	82.17	0.00	0.00



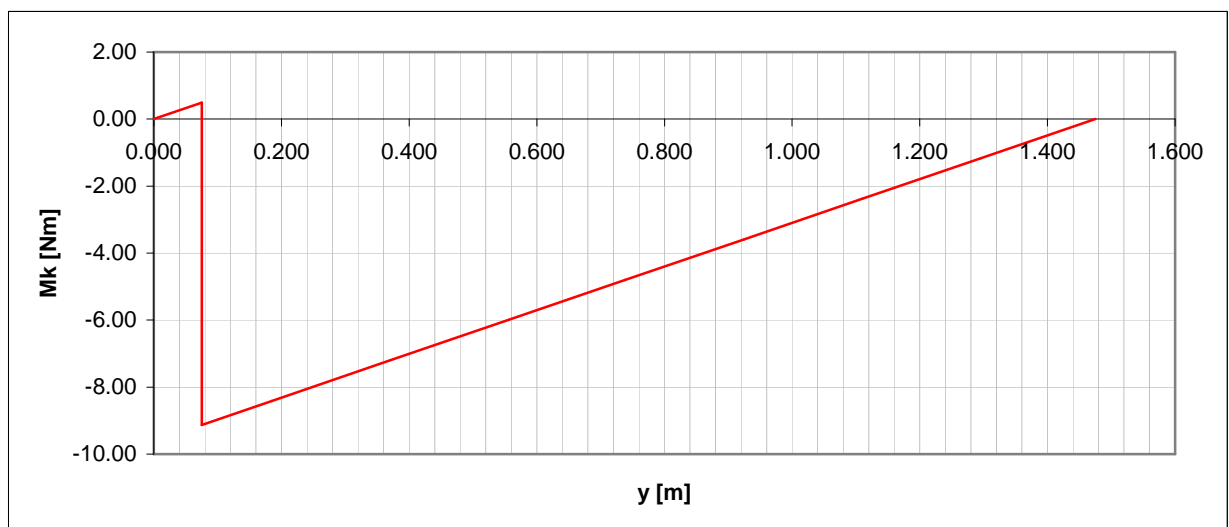


E) Závěsový moment výškového kormidla a reakce v ovládacím táhle

F [N]	r0 [m]	a [m]	r [m]	Mz [Nm]	r páky [m]	Freakce [N]
121.20	0.119	0.040	0.079	9.62	0.053	181.42

F) Krouticí moment výškového kormidla

Řez	y [m]	q[N/m]	r0[m]	a[m]	r [m]	Mk [Nm]
1 - kořen	0.000	82.17	0.119	0.040	0.079	0.00
2 - závěs, táhlo	0.075	82.17	0.119	0.040	0.079	0.49
2 - závěs, táhlo	0.075	82.17	0.119	0.040	0.079	-9.13
3	0.185	82.17	0.119	0.040	0.079	-8.41
4	0.370	82.17	0.119	0.040	0.079	-7.20
5	0.555	82.17	0.119	0.040	0.079	-6.00
6 - Výslednice F	0.738	82.17	0.119	0.040	0.079	-4.80
7	0.925	82.17	0.119	0.040	0.079	-3.59
8	1.110	82.17	0.119	0.040	0.079	-2.38
9	1.295	82.17	0.119	0.040	0.079	-1.17
10 - konec (závěs)	1.475	82.17	0.119	0.040	0.079	0.00



7. ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo vypočítat zatížení částí draku a provést pevnostní kontrolu křídla obojživelného letounu Mermaid poté, co během fáze vývoje prošla jeho konstrukce a celkový vzhled jistými změnami. Výsledky z pevnostní kontroly křídla již byly stručně shrnuty na konci kapitoly 3. Vyčnívaly obzvláště nízké hodnoty součinitelů bezpečnosti při kontrole potahu na stabilitu a bezpečnost závěsů hlavního nosníku při kontrole na utržení. Při výpočtu zatížení křídélka, vztlakové klapky či vodorovných ocasních ploch byly získány průběhy posouvající síly, ohybového a kroutícího momentu a určeny síly v závěsech a v řízení pro jednotlivé případy. Nesymetrický případ zatížení u vodorovných ocasních ploch bude rozhodující pro připojení stabilizátoru k trupu.

8. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] J.Čtverák, V.Mertl, A.Píštěk: Soubor podkladů pro pevnostní výpočty leteckých konstrukcí
- [2] V.Mertl: Konstrukce a projektování letadel
- [3] A.Píštěk, O.Grégr, V.Kahánek, R.Böhm: Pevnost a životnost letadel I

9. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a	[m]	poloha osy otáčení
c	[m]	hloubka plochy
c_l	[-]	součinitel vztlaku
c_m	[-]	součinitel klopivého momentu
F	[N]	síla
g	[m/s ²]	tíhové zrychlení
G	[kg]	tíha letounu
I_x	[kg·m ²]	moment setrvačnosti
k	[-]	bezpečnost
l	[m]	rozpětí
L	[N]	vztlková síla
m	[kg]	hmotnost letounu
M_k	[Nm]	kroučící moment
M_o	[Nm]	ohybový moment
n	[-]	násobek zatížení
N_p	[N]	síla v pásnicích
q	[N/m]	spojité (liniové) zatížení
r_0	[m]	působíště liniového zatížení
S	[sq. ft], [m ²]	plocha křídla
T	[N]	posouvající síla
v_A	[km/h]	obratová rychlost
v_C	[km/h]	cestovní rychlost
v_D	[km/h]	rychlost střemhlavého letu
v_F	[km/h]	rychlost s vysunutými vztlakovými klapkami
w	[N/m ²]	průměrná hodnota zatížení po délce plochy
W	[lb]	hmotnost letounu
δ_{kr}	[°]	výchylka křídélka
ρ	[kg/m ³]	hustota ovzduší
σ	[MPa]	normálové napětí
τ	[MPa]	smykové napětí

10. SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1 Hodnoty a průběhy zatížení křídla pro jednotlivé případy

PŘÍLOHA 2 Výkresová dokumentace (v samostatných deskách)

PŘÍLOHA 1**Hodnoty a průběhy zatížení křídla pro jednotlivé případy****PŘÍPAD 1**

Bod A obálky

- normální zatížení nahoru, $n = 4$
- tečné zatížení dopředu, $n = 1$

Vzdušné zatížení - posouvající síla, ohybový moment

y [m]	c [m]	cln [-]	cl0 [-]	clkr [-]	cl(y) [-]	q(y) [N/m]	T(y) [N]	Mo(y) [Nm]
4.750	1.050	0.000	0.000	1.631	0.000	0.000	0.000	0.000
4.734	1.052	0.203	-0.010	1.631	0.321	439.153	3.513	0.028
4.685	1.057	0.386	-0.019	1.631	0.610	839.903	34.850	0.968
4.605	1.066	0.541	-0.025	1.631	0.857	1190.074	116.049	7.004
4.493	1.078	0.669	-0.030	1.631	1.062	1490.242	266.147	28.407
4.350	1.094	0.772	-0.032	1.631	1.226	1747.215	497.625	83.017
4.178	1.113	0.853	-0.033	1.631	1.358	1968.000	817.134	196.086
3.977	1.135	0.915	-0.031	1.631	1.461	2159.740	1231.971	402.021
3.748	1.160	0.963	-0.029	1.631	1.542	2329.715	1746.014	743.000
3.495	1.188	0.999	-0.024	1.631	1.605	2483.445	2354.879	1261.763
3.217	1.218	1.025	-0.019	1.631	1.653	2622.606	3064.620	2015.073
2.918	1.251	1.044	-0.013	1.631	1.690	2753.025	3868.277	3051.541
2.598	1.286	1.056	-0.006	1.631	1.716	2874.761	4768.722	4433.461
2.261	1.323	1.063	0.001	1.631	1.735	2988.642	5756.706	6206.996
1.908	1.361	1.065	0.008	1.631	1.745	3092.561	6830.038	8428.556
1.542	1.402	1.062	0.015	1.631	1.747	3189.504	7979.656	11138.730
1.100	1.443	1.053	0.021	1.631	1.739	3267.248	9406.598	14981.092
0.782	1.450	1.061	0.024	1.631	1.754	3312.856	10452.835	18138.742
0.392	1.450	1.068	0.025	1.631	1.767	3335.827	11749.328	22468.164
0.000	1.450	1.070	0.026	1.631	1.770	3343.050	13058.388	27330.476

Zatížení od setrvačných sil - posouvající síla, ohybový moment, kroučící moment

y [m]	c [m]	qG1(y) [N/m]	qG(y) [N/m]	TG(y) [N]	MoG(y) [Nm]	MkG(y) [Nm]
4.75	1.05	-3.077	-12.687	0.000	0.000	0.000
4.734	1.052	-3.089	-12.735	-0.203	-0.002	-0.032
4.685	1.057	-3.118	-12.857	-0.830	-0.027	-0.131
4.605	1.066	-3.172	-13.076	-1.868	-0.135	-0.296
4.493	1.078	-3.243	-13.372	-3.349	-0.427	-0.535
4.35	1.094	-3.340	-13.772	-5.290	-1.045	-0.851
4.178	1.113	-3.457	-14.255	-7.700	-2.162	-1.250
3.977	1.135	-3.595	-14.824	-10.622	-4.003	-1.742
3.748	1.16	-3.756	-15.484	-14.093	-6.833	-2.340
3.495	1.188	-3.939	-16.241	-18.106	-10.906	-3.046
3.217	1.218	-4.141	-17.071	-22.736	-16.583	-3.882
2.918	1.251	-4.368	-18.009	-27.981	-24.165	-4.853
2.598	1.286	-4.616	-19.031	-33.907	-34.068	-5.981
2.261	1.323	-4.885	-20.142	-40.508	-46.606	-7.272
1.908	1.361	-5.170	-21.315	-47.825	-62.197	-8.745
1.542	1.402	-5.486	-22.619	-55.865	-81.172	-10.411
1.1	1.443	-5.812	-23.961	-66.159	-108.140	-12.608
0.782	1.45	-5.868	-24.194	-73.816	-130.395	-14.269
0.392	1.45	-5.868	-24.194	-83.251	-161.023	-16.321
0	1.45	-5.868	-24.194	-92.735	-195.517	-18.384

Výsledné zatížení - posouvající síla, ohybový moment
(ohybový moment je již rozložen do normálové a tečné složky)

y [m]	T(y) [N]	Mon(y) [Nm]	Mot(y) [Nm]	TG(y) [N]	MoG(y) [Nm]	Tv(y) [N]	Mvn(y) [Nm]	Mvt(y) [Nm]
4.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4.734	3.513	0.027	0.007	-0.203	-0.002	3.310	0.026	0.006
4.685	34.850	0.939	0.235	-0.830	-0.027	34.020	0.913	0.228
4.605	116.049	6.795	1.699	-1.868	-0.135	114.182	6.664	1.666
4.493	266.147	27.560	6.890	-3.349	-0.427	262.798	27.145	6.786
4.350	497.625	80.540	20.135	-5.290	-1.045	492.335	79.527	19.882
4.178	817.134	190.236	47.559	-7.700	-2.162	809.434	188.139	47.035
3.977	1231.971	390.028	97.507	-10.622	-4.003	1221.349	386.144	96.536
3.748	1746.014	720.835	180.209	-14.093	-6.833	1731.921	714.205	178.551
3.495	2354.879	1224.121	306.030	-18.106	-10.906	2336.773	1213.541	303.385
3.217	3064.620	1954.958	488.740	-22.736	-16.583	3041.883	1938.870	484.717
2.918	3868.277	2960.506	740.126	-27.981	-24.165	3840.296	2937.061	734.265
2.598	4768.722	4301.199	1075.300	-33.907	-34.068	4734.815	4268.148	1067.037
2.261	5756.706	6021.825	1505.456	-40.508	-46.606	5716.198	5976.609	1494.152
1.908	6830.038	8177.110	2044.278	-47.825	-62.197	6782.213	8116.768	2029.192
1.542	7979.656	10806.432	2701.608	-55.865	-81.172	7923.791	10727.682	2681.920
1.100	9406.598	14534.167	3633.542	-66.159	-108.140	9340.439	14429.253	3607.313
0.782	10452.835	17597.616	4399.404	-73.816	-130.395	10379.019	17471.110	4367.778
0.392	11749.328	21797.879	5449.470	-83.251	-161.023	11666.077	21641.659	5410.415
0.000	13058.388	26515.136	6628.784	-92.735	-195.517	12965.652	26325.452	6581.363

PŘÍPAD 2

Bod D obálky

- normální zatížení nahoru, $n = 4$
- tečné zatížení dozadu, $n = -1/5$

Vzdušné zatížení - posouvající síla, ohybový moment

y [m]	c [m]	cln [-]	cl0 [-]	clkr [-]	cl(y) [-]	q(y) [N/m]	T(y) [N]	Mo(y) [Nm]
4.750	1.050	0.000	0.000	0.502	0.000	0.000	0.000	0.000
4.734	1.052	0.203	-0.010	0.502	0.092	397.217	3.178	0.025
4.685	1.057	0.386	-0.019	0.502	0.175	760.435	31.540	0.876
4.605	1.066	0.541	-0.025	0.502	0.246	1079.999	105.158	6.344
4.493	1.078	0.669	-0.030	0.502	0.306	1357.096	241.635	25.764
4.350	1.094	0.772	-0.032	0.502	0.355	1597.736	452.905	75.424
4.178	1.113	0.853	-0.033	0.502	0.395	1809.329	745.913	178.522
3.977	1.135	0.915	-0.031	0.502	0.428	1997.858	1128.535	366.904
3.748	1.160	0.963	-0.029	0.502	0.455	2170.420	1605.803	679.986
3.495	1.188	0.999	-0.024	0.502	0.477	2332.122	2175.375	1158.305
3.217	1.218	1.025	-0.019	0.502	0.496	2483.702	2844.774	1856.106
2.918	1.251	1.044	-0.013	0.502	0.511	2630.422	3609.336	2820.995
2.598	1.286	1.056	-0.006	0.502	0.524	2772.374	4473.783	4114.294
2.261	1.323	1.063	0.001	0.502	0.535	2908.803	5431.061	5783.261
1.908	1.361	1.065	0.008	0.502	0.543	3037.433	6480.572	7885.664
1.542	1.402	1.062	0.015	0.502	0.548	3159.752	7614.657	10465.091
1.100	1.443	1.053	0.021	0.502	0.549	3260.066	9033.436	14144.319
0.782	1.450	1.061	0.024	0.502	0.556	3318.017	10079.352	17183.253
0.392	1.450	1.068	0.025	0.502	0.561	3346.124	11378.859	21367.604
0.000	1.450	1.070	0.026	0.502	0.563	3354.797	12692.240	26085.539

Zatížení od setrvačných sil - posouvající síla, ohybový moment, kroutící moment

y	c	qG1(y)	qG(y)	TG(y)	MoG(y)	MkG(y)
4.750	1.050	-3.077	-12.324	0.000	0.000	0.000
4.734	1.052	-3.089	-12.371	-0.198	-0.002	-0.031
4.685	1.057	-3.118	-12.489	-0.807	-0.026	-0.127
4.605	1.066	-3.172	-12.702	-1.814	-0.131	-0.288
4.493	1.078	-3.243	-12.990	-3.253	-0.415	-0.519
4.350	1.094	-3.340	-13.378	-5.138	-1.015	-0.826
4.178	1.113	-3.457	-13.847	-7.480	-2.100	-1.214
3.977	1.135	-3.595	-14.400	-10.318	-3.889	-1.693
3.748	1.160	-3.756	-15.041	-13.689	-6.637	-2.273
3.495	1.188	-3.939	-15.776	-17.588	-10.594	-2.959
3.217	1.218	-4.141	-16.583	-22.086	-16.109	-3.771
2.918	1.251	-4.368	-17.494	-27.180	-23.474	-4.714
2.598	1.286	-4.616	-18.486	-32.937	-33.093	-5.810
2.261	1.323	-4.885	-19.565	-39.348	-45.273	-7.064
1.908	1.361	-5.170	-20.705	-46.456	-60.417	-8.495
1.542	1.402	-5.486	-21.971	-54.266	-78.849	-10.113
1.100	1.443	-5.812	-23.275	-64.265	-105.045	-12.247
0.782	1.450	-5.868	-23.502	-71.703	-126.664	-13.861
0.392	1.450	-5.868	-23.502	-80.869	-156.415	-15.854
0.000	1.450	-5.868	-23.502	-90.081	-189.921	-17.858

Výsledné zatížení - posouvající síla, ohybový moment

y	T(y)	Mon(y)	Mot(y)	TG(y)	MoG(y)	Tv(y)	Mvn(y)	Mvt(y)
4.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4.734	3.178	0.025	-0.001	-0.198	-0.002	2.980	0.024	-0.001
4.685	31.540	0.875	-0.044	-0.807	-0.026	30.734	0.849	-0.042
4.605	105.158	6.336	-0.317	-1.814	-0.131	103.343	6.205	-0.310
4.493	241.635	25.732	-1.287	-3.253	-0.415	238.382	25.318	-1.266
4.350	452.905	75.330	-3.766	-5.138	-1.015	447.767	74.316	-3.716
4.178	745.913	178.299	-8.915	-7.480	-2.100	738.433	176.202	-8.810
3.977	1128.535	366.446	-18.322	-10.318	-3.889	1118.217	362.563	-18.128
3.748	1605.803	679.137	-33.957	-13.689	-6.637	1592.114	672.508	-33.625
3.495	2175.375	1156.859	-57.843	-17.588	-10.594	2157.787	1146.278	-57.314
3.217	2844.774	1853.789	-92.689	-22.086	-16.109	2822.689	1837.700	-91.885
2.918	3609.336	2817.474	-140.874	-27.180	-23.474	3582.156	2794.029	-139.701
2.598	4473.783	4109.158	-205.458	-32.937	-33.093	4440.846	4076.107	-203.805
2.261	5431.061	5776.041	-288.802	-39.348	-45.273	5391.713	5730.825	-286.541
1.908	6480.572	7875.819	-393.791	-46.456	-60.417	6434.116	7815.478	-390.774
1.542	7614.657	10452.026	-522.601	-54.266	-78.849	7560.391	10373.275	-518.664
1.100	9033.436	14126.661	-706.333	-64.265	-105.045	8969.171	14021.748	-701.087
0.782	10079.352	17161.800	-858.090	-71.703	-126.664	10007.649	17035.295	-851.765
0.392	11378.859	21340.928	-1067.046	-80.869	-156.415	11297.991	21184.708	-1059.235
0.000	12692.240	26052.973	-1302.649	-90.081	-189.921	12602.159	25863.289	-1293.164

PŘÍPAD 3

Bod G obálky

- normální zatížení dolů, $n = -2$
- tečné zatížení dopředu, $n = 0,4$

Vzdušné zatížení - posouvající síla, ohybový moment

y [m]	c [m]	cln [-]	cl0 [-]	clkr [-]	cl(y) [-]	q(y) [N/m]	T(y) [N]	Mo(y) [Nm]
4.750	1.050	0.000	0.000	-1.378	0.000	0.000	0.000	0.000
4.734	1.052	0.203	-0.010	-1.378	-0.289	-231.818	-1.855	-0.015
4.685	1.057	0.386	-0.019	-1.378	-0.550	-443.000	-18.388	-0.511
4.605	1.066	0.541	-0.025	-1.378	-0.771	-626.446	-61.165	-3.693
4.493	1.078	0.669	-0.030	-1.378	-0.952	-782.136	-140.046	-14.961
4.350	1.094	0.772	-0.032	-1.378	-1.096	-913.731	-261.300	-43.657
4.178	1.113	0.853	-0.033	-1.378	-1.207	-1024.404	-427.980	-102.935
3.977	1.135	0.915	-0.031	-1.378	-1.292	-1118.160	-643.308	-210.600
3.748	1.160	0.963	-0.029	-1.378	-1.356	-1198.590	-908.576	-388.290
3.495	1.188	0.999	-0.024	-1.378	-1.401	-1268.551	-1220.669	-657.640
3.217	1.218	1.025	-0.019	-1.378	-1.432	-1329.312	-1581.772	-1047.179
2.918	1.251	1.044	-0.013	-1.378	-1.451	-1383.953	-1987.405	-1580.771
2.598	1.286	1.056	-0.006	-1.378	-1.461	-1432.487	-2438.035	-2288.841
2.261	1.323	1.063	0.001	-1.378	-1.464	-1476.092	-2928.131	-3193.040
1.908	1.361	1.065	0.008	-1.378	-1.459	-1513.839	-3455.854	-4319.814
1.542	1.402	1.062	0.015	-1.378	-1.448	-1547.906	-4016.153	-5687.191
1.100	1.443	1.053	0.021	-1.378	-1.431	-1574.129	-4706.123	-7614.814
0.782	1.450	1.061	0.024	-1.378	-1.438	-1589.956	-5209.212	-9191.352
0.392	1.450	1.068	0.025	-1.378	-1.446	-1598.461	-5830.954	-11344.185
0.000	1.450	1.070	0.026	-1.378	-1.449	-1601.217	-6458.091	-13752.837

Zatížení od setrvačných sil - posouvající síla, ohybový moment, kroutící moment

y	c	qG1(y)	qG(y)	TG(y)	MoG(y)	MkG(y)
4.750	1.050	-3.077	6.277	0.000	0.000	0.000
4.734	1.052	-3.089	6.301	0.101	0.001	0.016
4.685	1.057	-3.118	6.361	0.411	0.013	0.065
4.605	1.066	-3.172	6.470	0.924	0.067	0.147
4.493	1.078	-3.243	6.616	1.657	0.211	0.264
4.350	1.094	-3.340	6.814	2.617	0.517	0.421
4.178	1.113	-3.457	7.053	3.810	1.070	0.618
3.977	1.135	-3.595	7.335	5.256	1.981	0.862
3.748	1.160	-3.756	7.661	6.973	3.381	1.158
3.495	1.188	-3.939	8.036	8.959	5.396	1.507
3.217	1.218	-4.141	8.447	11.250	8.205	1.921
2.918	1.251	-4.368	8.911	13.844	11.957	2.401
2.598	1.286	-4.616	9.416	16.777	16.856	2.959
2.261	1.323	-4.885	9.966	20.043	23.060	3.598
1.908	1.361	-5.170	10.546	23.663	30.774	4.327
1.542	1.402	-5.486	11.191	27.641	40.163	5.151
1.100	1.443	-5.812	11.856	32.734	53.506	6.238
0.782	1.450	-5.868	11.971	36.523	64.518	7.060
0.392	1.450	-5.868	11.971	41.191	79.672	8.076
0.000	1.450	-5.868	11.971	45.884	96.739	9.096

Výsledné zatížení - posouvající síla, ohybový moment

y	T(y)	Mon(y)	Mot(y)	TG(y)	MoG(y)	Tv(y)	Mvn(y)	Mvt(y)
4.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4.734	-1.855	-0.015	0.003	0.101	0.001	-1.754	-0.014	0.003
4.685	-18.388	-0.501	0.100	0.411	0.013	-17.977	-0.488	0.098
4.605	-61.165	-3.620	0.724	0.924	0.067	-60.241	-3.555	0.711
4.493	-140.046	-14.667	2.933	1.657	0.211	-138.389	-14.460	2.892
4.350	-261.300	-42.801	8.560	2.617	0.517	-258.683	-42.294	8.459
4.178	-427.980	-100.917	20.183	3.810	1.070	-424.170	-99.868	19.974
3.977	-643.308	-206.470	41.294	5.256	1.981	-638.052	-204.528	40.906
3.748	-908.576	-380.677	76.135	6.973	3.381	-901.603	-377.362	75.472
3.495	-1220.669	-644.745	128.949	8.959	5.396	-1211.710	-639.454	127.891
3.217	-1581.772	-1026.646	205.329	11.250	8.205	-1570.522	-1018.602	203.720
2.918	-1987.405	-1549.775	309.955	13.844	11.957	-1973.561	-1538.053	307.611
2.598	-2438.035	-2243.962	448.792	16.777	16.856	-2421.259	-2227.436	445.487
2.261	-2928.131	-3130.432	626.086	20.043	23.060	-2908.088	-3107.824	621.565
1.908	-3455.854	-4235.111	847.022	23.663	30.774	-3432.191	-4204.941	840.988
1.542	-4016.153	-5575.677	1115.135	27.641	40.163	-3988.512	-5536.302	1107.260
1.100	-4706.123	-7465.504	1493.101	32.734	53.506	-4673.388	-7413.047	1482.609
0.782	-5209.212	-9011.130	1802.226	36.523	64.518	-5172.690	-8947.877	1789.575
0.392	-5830.954	-11121.750	2224.350	41.191	79.672	-5789.762	-11043.640	2208.728
0.000	-6458.091	-13483.174	2696.635	45.884	96.739	-6412.207	-13388.332	2677.666

PŘÍPAD 4S vysunutými klapkami (rychlost v_F)

- normální zatížení nahoru, $n = 2$
- tečné zatížení dopředu, $n = 1$

Vzdušné zatížení - posouvající síla, ohybový moment

y [m]	c [m]	cln [-]	cl0 [-]	clkl [-]	clkr [-]	cl(y) [-]	q(y) [N/m]	T(y) [N]	Mo(y) [Nm]
4.750	1.050	0.000	0.000	0.000	1.243	0.000	0.000	0.000	0.000
4.734	1.052	0.203	-0.010	-0.126	1.243	0.116	112.876	0.903	0.007
4.685	1.057	0.386	-0.019	-0.238	1.243	0.223	218.123	9.012	0.250
4.605	1.066	0.541	-0.025	-0.328	1.243	0.319	314.885	30.333	1.824
4.493	1.078	0.669	-0.030	-0.395	1.243	0.406	405.908	70.697	7.482
4.350	1.094	0.772	-0.032	-0.438	1.243	0.489	495.974	135.182	22.202
4.178	1.113	0.853	-0.033	-0.453	1.243	0.574	591.845	228.734	53.499
3.977	1.135	0.915	-0.031	-0.436	1.243	0.670	704.487	359.015	112.568
3.748	1.160	0.963	-0.029	-0.372	1.243	0.796	855.544	537.639	215.234
3.495	1.188	0.999	-0.024	-0.207	1.243	1.010	1111.966	786.529	382.742
3.217	1.218	1.025	-0.019	0.216	1.243	1.471	1660.045	1171.838	654.955
2.918	1.251	1.044	-0.013	0.387	1.243	1.671	1936.808	1709.568	1085.725
2.598	1.286	1.056	-0.006	0.454	1.243	1.760	2097.092	2354.992	1736.054
2.261	1.323	1.063	0.001	0.469	1.243	1.791	2195.361	3078.270	2651.559
1.908	1.361	1.065	0.008	0.442	1.243	1.773	2235.676	3860.348	3876.225
1.542	1.402	1.062	0.015	0.359	1.243	1.694	2199.384	4671.964	5437.638
1.100	1.443	1.053	0.021	0.147	1.243	1.477	1974.360	5594.361	7706.496
0.782	1.450	1.061	0.024	-0.307	1.243	1.035	1390.494	6129.373	9570.570
0.392	1.450	1.068	0.025	-0.440	1.243	0.913	1225.695	6639.530	12060.506
0.000	1.450	1.070	0.026	-0.474	1.243	0.881	1183.265	7111.686	14755.744

Zatížení od setrvačných sil - posouvající síla, ohybový moment, kroučící moment

y	c	qG1(y)	qG(y)	TG(y)	MoG(y)	MkG(y)
4.750	1.050	-3.077	-6.880	0.000	0.000	0.000
4.734	1.052	-3.089	-6.907	-0.110	-0.001	-0.017
4.685	1.057	-3.118	-6.972	-0.450	-0.015	-0.071
4.605	1.066	-3.172	-7.092	-1.013	-0.073	-0.161
4.493	1.078	-3.243	-7.252	-1.816	-0.232	-0.290
4.350	1.094	-3.340	-7.469	-2.869	-0.567	-0.461
4.178	1.113	-3.457	-7.731	-4.176	-1.172	-0.678
3.977	1.135	-3.595	-8.039	-5.761	-2.171	-0.945
3.748	1.160	-3.756	-8.397	-7.643	-3.706	-1.269
3.495	1.188	-3.939	-8.808	-9.819	-5.915	-1.652
3.217	1.218	-4.141	-9.258	-12.330	-8.993	-2.105
2.918	1.251	-4.368	-9.767	-15.175	-13.106	-2.632
2.598	1.286	-4.616	-10.321	-18.389	-18.476	-3.244
2.261	1.323	-4.885	-10.923	-21.968	-25.276	-3.944
1.908	1.361	-5.170	-11.560	-25.937	-33.731	-4.743
1.542	1.402	-5.486	-12.267	-30.297	-44.022	-5.646
1.100	1.443	-5.812	-12.995	-35.880	-58.647	-6.838
0.782	1.450	-5.868	-13.121	-40.032	-70.717	-7.739
0.392	1.450	-5.868	-13.121	-45.149	-87.327	-8.852
0.000	1.450	-5.868	-13.121	-50.293	-106.033	-9.970

Výsledné zatížení - posouvající síla, ohybový moment

y	T(y)	Mon(y)	Mot(y)	TG(y)	MoG(y)	Tv(y)	Mvn(y)	Mvt(y)
4.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4.734	0.903	0.006	0.003	-0.110	-0.001	0.793	0.006	0.003
4.685	9.012	0.224	0.112	-0.450	-0.015	8.562	0.211	0.105
4.605	30.333	1.631	0.816	-1.013	-0.073	29.320	1.566	0.783
4.493	70.697	6.692	3.346	-1.816	-0.232	68.881	6.485	3.242
4.350	135.182	19.859	9.929	-2.869	-0.567	132.313	19.352	9.676
4.178	228.734	47.852	23.926	-4.176	-1.172	224.558	46.804	23.402
3.977	359.015	100.687	50.343	-5.761	-2.171	353.255	98.745	49.372
3.748	537.639	192.517	96.259	-7.643	-3.706	529.996	189.203	94.601
3.495	786.529	342.345	171.172	-9.819	-5.915	776.710	337.055	168.527
3.217	1171.838	585.827	292.914	-12.330	-8.993	1159.508	577.783	288.891
2.918	1709.568	971.131	485.566	-15.175	-13.106	1694.393	959.409	479.705
2.598	2354.992	1552.822	776.411	-18.389	-18.476	2336.603	1536.296	768.148
2.261	3078.270	2371.699	1185.849	-21.968	-25.276	3056.302	2349.091	1174.545
1.908	3860.348	3467.107	1733.553	-25.937	-33.731	3834.411	3436.936	1718.468
1.542	4671.964	4863.719	2431.860	-30.297	-44.022	4641.667	4824.344	2412.172
1.100	5594.361	6893.109	3446.555	-35.880	-58.647	5558.482	6840.652	3420.326
0.782	6129.373	8560.438	4280.219	-40.032	-70.717	6089.341	8497.185	4248.593
0.392	6639.530	10787.572	5393.786	-45.149	-87.327	6594.381	10709.463	5354.731
0.000	7111.686	13198.340	6599.170	-50.293	-106.033	7061.394	13103.498	6551.749

PŘÍPAD 5

Předpoklad 100% zatížení bodu A obálky na jedné straně křídla a 75% zatížení na druhé straně křídla

a) 100%

Vzdušné zatížení - posouvající síla, ohybový moment

y [m]	c [m]	cln [-]	cl0 [-]	clkr [-]	cl(y) [-]	q(y) [N/m]	T(y) [N]	Mo(y) [Nm]
4.750	1.050	0.000	0.000	1.631	0.000	0.000	0.000	0.000
4.734	1.052	0.203	-0.010	1.631	0.321	439.153	3.513	0.028
4.685	1.057	0.386	-0.019	1.631	0.610	839.903	34.850	0.968
4.605	1.066	0.541	-0.025	1.631	0.857	1190.074	116.049	7.004
4.493	1.078	0.669	-0.030	1.631	1.062	1490.242	266.147	28.407
4.350	1.094	0.772	-0.032	1.631	1.226	1747.215	497.625	83.017
4.178	1.113	0.853	-0.033	1.631	1.358	1968.000	817.134	196.086
3.977	1.135	0.915	-0.031	1.631	1.461	2159.740	1231.971	402.021
3.748	1.160	0.963	-0.029	1.631	1.542	2329.715	1746.014	743.000
3.495	1.188	0.999	-0.024	1.631	1.605	2483.445	2354.879	1261.763
3.217	1.218	1.025	-0.019	1.631	1.653	2622.606	3064.620	2015.073
2.918	1.251	1.044	-0.013	1.631	1.690	2753.025	3868.277	3051.541
2.598	1.286	1.056	-0.006	1.631	1.716	2874.761	4768.722	4433.461
2.261	1.323	1.063	0.001	1.631	1.735	2988.642	5756.706	6206.996
1.908	1.361	1.065	0.008	1.631	1.745	3092.561	6830.038	8428.556
1.542	1.402	1.062	0.015	1.631	1.747	3189.504	7979.656	11138.730
1.100	1.443	1.053	0.021	1.631	1.739	3267.248	9406.598	14981.092
0.782	1.450	1.061	0.024	1.631	1.754	3312.856	10452.835	18138.742
0.392	1.450	1.068	0.025	1.631	1.767	3335.827	11749.328	22468.164
0.000	1.450	1.070	0.026	1.631	1.770	3343.050	13058.388	27330.476

b) 75%

Vzdušné zatížení - posouvající síla, ohybový moment

y [m]	c [m]	cln [-]	cl0 [-]	clkr [-]	cl(y) [-]	q(y) [N/m]	T(y) [N]	Mo(y) [Nm]
4.750	1.050	0.000	0.000	1.223	0.000	0.000	0.000	0.000
4.734	1.052	0.203	-0.010	1.223	0.238	325.974	2.608	0.021
4.685	1.057	0.386	-0.019	1.223	0.453	623.526	25.871	0.719
4.605	1.066	0.541	-0.025	1.223	0.637	883.775	86.163	5.200
4.493	1.078	0.669	-0.030	1.223	0.789	1107.223	197.658	21.094
4.350	1.094	0.772	-0.032	1.223	0.912	1298.907	369.697	61.660
4.178	1.113	0.853	-0.033	1.223	1.010	1464.150	607.320	145.683
3.977	1.135	0.915	-0.031	1.223	1.088	1608.201	916.091	298.786
3.748	1.160	0.963	-0.029	1.223	1.149	1736.522	1299.062	552.421
3.495	1.188	0.999	-0.024	1.223	1.198	1853.223	1753.165	938.528
3.217	1.218	1.025	-0.019	1.223	1.235	1959.460	2283.128	1499.572
2.918	1.251	1.044	-0.013	1.223	1.264	2059.555	2883.970	2272.053
2.598	1.286	1.056	-0.006	1.223	1.286	2153.559	3558.069	3302.780
2.261	1.323	1.063	0.001	1.223	1.301	2241.912	4298.705	4626.646
1.908	1.361	1.065	0.008	1.223	1.311	2323.010	5104.414	6286.297
1.542	1.402	1.062	0.015	1.223	1.314	2398.929	5968.529	8312.645
1.100	1.443	1.053	0.021	1.223	1.309	2460.067	7042.367	11188.053
0.782	1.450	1.061	0.024	1.223	1.322	2495.830	7830.355	13552.816
0.392	1.450	1.068	0.025	1.223	1.331	2513.720	8807.217	16797.143
0.000	1.450	1.070	0.026	1.223	1.334	2519.326	9793.694	20442.921

PŘÍPAD 6

Předpoklad 75% zatížení bodu A obálky na každé straně křídla a torzní zatížení od plné výchylky křídélka

a) výchylka dolů

Vzdušné zatížení - posouvající síla, ohybový moment

y [m]	c [m]	cln [-]	cl0 [-]	clkrsym [-]	clkrantis [-]	clkr [-]	cl(y) [-]	q(y) [N/m]	T(y) [N]	Mo(y) [Nm]
4.750	1.050	0.000	0.000	0.000	0.000	1.223	0.000	0.000	0.000	0.000
4.734	1.052	0.203	-0.010	-0.025	0.139	1.223	0.352	482.022	3.856	0.031
4.685	1.057	0.386	-0.019	-0.062	0.307	1.223	0.698	961.332	39.218	1.086
4.605	1.066	0.541	-0.025	-0.118	0.525	1.223	1.044	1449.356	135.646	8.081
4.493	1.078	0.669	-0.030	-0.152	0.667	1.223	1.304	1830.933	319.342	33.560
4.350	1.094	0.772	-0.032	-0.175	0.769	1.223	1.505	2144.915	603.615	99.552
4.178	1.113	0.853	-0.033	-0.189	0.836	1.223	1.657	2401.819	994.634	237.001
3.977	1.135	0.915	-0.031	-0.194	0.871	1.223	1.764	2608.158	1498.137	487.525
3.748	1.160	0.963	-0.029	-0.190	0.871	1.223	1.831	2766.057	2113.485	901.055
3.495	1.188	0.999	-0.024	-0.171	0.827	1.223	1.853	2866.919	2826.056	1525.907
3.217	1.218	1.025	-0.019	-0.124	0.692	1.223	1.803	2860.435	3622.158	2422.209
2.918	1.251	1.044	-0.013	-0.009	0.349	1.223	1.605	2614.298	4440.631	3627.596
2.598	1.286	1.056	-0.006	0.039	0.207	1.223	1.532	2565.723	5269.434	5181.206
2.261	1.323	1.063	0.001	0.063	0.136	1.223	1.500	2583.921	6137.149	7103.216
1.908	1.361	1.065	0.008	0.076	0.092	1.223	1.479	2621.669	7055.936	9431.795
1.542	1.402	1.062	0.015	0.084	0.063	1.223	1.461	2667.877	8023.923	12191.409
1.100	1.443	1.053	0.021	0.089	0.042	1.223	1.440	2705.497	9211.438	16000.424
0.782	1.450	1.061	0.024	0.093	0.026	1.223	1.440	2719.979	10074.089	19066.823
0.392	1.450	1.068	0.025	0.095	0.012	1.223	1.439	2716.719	11134.245	23202.448
0.000	1.450	1.070	0.026	0.096	0.000	1.223	1.430	2700.420	12196.004	27775.177

Vzdušné zatížení - kroučící moment

cm0(y) [-]	cm(y) [-]	qMk(y) [N/m]	Mk(y) [Nm]
-0.051	-0.201	-288.741	0.000
-0.051	-0.201	-289.999	-4.630
-0.052	-0.202	-293.249	-18.919
-0.052	-0.202	-299.071	-42.612
-0.053	-0.203	-306.999	-76.552
-0.054	-0.204	-317.700	-121.218
-0.055	-0.205	-330.724	-176.983
-0.056	-0.206	-346.228	-245.016
-0.058	-0.208	-364.386	-326.382
-0.060	-0.210	-385.362	-421.225
-0.062	-0.212	-408.735	-531.604
-0.064	-0.214	-435.340	-657.793
-0.066	-0.216	-464.742	-801.807
-0.068	-0.218	-497.110	-963.879
-0.070	-0.220	-531.886	-1145.496
-0.073	-0.223	-570.806	-1347.289
-0.076	-0.226	-612.856	-1608.878
-0.076	-0.226	-618.816	-1804.714
-0.076	-0.226	-618.816	-2046.052
-0.076	-0.226	-618.816	-2288.628

Zatížení od setrvačných sil - posouvající síla, ohybový moment, kroučící moment

y	c	qG1(y)	cmxANTI	Mx	Ix	Ex	qG(y)	TG(y)	MoG(y)	MkG(y)
4.750	1.050	-3.077	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-19.843	0.000	0.000	0.000
4.734	1.052	-3.089	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-19.894	-0.318	-0.003	-0.050
4.685	1.057	-3.118	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-20.004	-1.295	-0.042	-0.205
4.605	1.066	-3.172	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-20.216	-2.904	-0.210	-0.461
4.493	1.078	-3.243	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-20.486	-5.184	-0.663	-0.827
4.350	1.094	-3.340	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-20.853	-8.139	-1.616	-1.309
4.178	1.113	-3.457	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-21.277	-11.762	-3.327	-1.909
3.977	1.135	-3.595	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-21.753	-16.087	-6.126	-2.638
3.748	1.160	-3.756	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-22.279	-21.129	-10.387	-3.506
3.495	1.188	-3.939	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-22.854	-26.838	-16.455	-4.511
3.217	1.218	-4.141	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-23.429	-33.271	-24.810	-5.672
2.918	1.251	-4.368	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-24.042	-40.368	-35.819	-6.986
2.598	1.286	-4.616	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-24.645	-48.158	-49.983	-8.468
2.261	1.323	-4.885	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-25.235	-56.563	-67.629	-10.113
1.908	1.361	-5.170	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-25.765	-65.564	-89.184	-11.925
1.542	1.402	-5.486	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-26.305	-75.093	-114.924	-13.899
1.100	1.443	-5.812	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-26.542	-86.772	-150.697	-16.391
0.782	1.450	-5.868	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-25.838	-95.101	-179.614	-18.199
0.392	1.450	-5.868	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-24.658	-104.947	-218.624	-20.340
0.000	1.450	-5.868	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-23.472	-114.381	-261.612	-22.392

Výsledné zatížení - posouvající síla, ohybový moment

y	T(y)	Mon(y)	Mot(y)	TG(y)	MoG(y)	Tv(y)	Mvn(y)	Mvt(y)
4.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4.734	3.856	0.030	0.007	-0.318	-0.003	3.538	0.028	0.006
4.685	39.218	1.061	0.234	-1.295	-0.042	37.923	1.020	0.225
4.605	135.646	7.891	1.743	-2.904	-0.210	132.742	7.685	1.698
4.493	319.342	32.770	7.239	-5.184	-0.663	314.159	32.123	7.096
4.350	603.615	97.208	21.472	-8.139	-1.616	595.476	95.631	21.124
4.178	994.634	231.423	51.118	-11.762	-3.327	982.872	228.174	50.401
3.977	1498.137	476.049	105.153	-16.087	-6.126	1482.050	470.068	103.832
3.748	2113.485	879.846	194.347	-21.129	-10.387	2092.356	869.704	192.106
3.495	2826.056	1489.991	329.120	-26.838	-16.455	2799.218	1473.923	325.571
3.217	3622.158	2365.196	522.441	-33.271	-24.810	3588.887	2340.970	517.090
2.918	4440.631	3542.211	782.429	-40.368	-35.819	4400.263	3507.235	774.703
2.598	5269.434	5059.253	1117.524	-48.158	-49.983	5221.276	5010.446	1106.743
2.261	6137.149	6936.023	1532.078	-56.563	-67.629	6080.586	6869.986	1517.491
1.908	7055.936	9209.793	2034.324	-65.564	-89.184	6990.372	9122.708	2015.089
1.542	8023.923	11904.452	2629.540	-75.093	-114.924	7948.830	11792.233	2604.752
1.100	9211.438	15623.812	3451.098	-86.772	-150.697	9124.666	15476.662	3418.595
0.782	10074.089	18618.035	4112.484	-95.101	-179.614	9978.988	18442.648	4073.743
0.392	11134.245	22656.317	5004.488	-104.947	-218.624	11029.298	22442.839	4957.334
0.000	12196.004	27121.415	5990.771	-114.381	-261.612	12081.623	26865.960	5934.344

Výsledné zatížení - kroutící moment k aeroelastické ose

y	c	Mk(y) [Nm]	MkEO(y)
4.750	1.050	0.000	0.000
4.734	1.052	-4.630	-4.431
4.685	1.057	-18.919	-17.111
4.605	1.066	-42.612	-36.488
4.493	1.078	-76.552	-62.168
4.350	1.094	-121.218	-81.260
4.178	1.113	-176.983	-110.523
3.977	1.135	-245.016	-138.682
3.748	1.160	-326.382	-174.357
3.495	1.188	-421.225	-255.431
3.217	1.218	-531.604	-302.943
2.918	1.251	-657.793	-359.625
2.598	1.286	-801.807	-440.394
2.261	1.323	-963.879	-524.459
1.908	1.361	-1145.496	-663.477
1.542	1.402	-1347.289	-791.930
1.100	1.443	-1608.878	-975.824
0.782	1.450	-1804.714	-1205.248
0.392	1.450	-2046.052	-1383.527
0.000	1.450	-2288.628	-1563.016

b) výchylka nahoru

Vzdušné zatížení - posouvající síla, ohybový moment

y	c	cln	cl0	clkrsym	clkrantis	clkr	cl(y)	q(y)	T(y)	Mo(y)
4.750	1.050	0.000	0.000	0.000	0.000	1.223	0.000	0.000	0.000	0.000
4.734	1.052	0.203	-0.010	-0.025	-0.139	1.223	0.075	102.384	0.819	0.007
4.685	1.057	0.386	-0.019	-0.062	-0.307	1.223	0.085	116.543	6.183	0.178
4.605	1.066	0.541	-0.025	-0.118	-0.525	1.223	-0.006	-9.023	10.484	0.845
4.493	1.078	0.669	-0.030	-0.152	-0.667	1.223	-0.030	-42.431	7.602	1.858
4.350	1.094	0.772	-0.032	-0.175	-0.769	1.223	-0.032	-45.190	1.337	2.497
4.178	1.113	0.853	-0.033	-0.189	-0.836	1.223	-0.014	-20.843	-4.341	2.238
3.977	1.135	0.915	-0.031	-0.194	-0.871	1.223	0.023	34.582	-2.961	1.504
3.748	1.160	0.963	-0.029	-0.190	-0.871	1.223	0.089	134.436	16.392	3.042
3.495	1.188	0.999	-0.024	-0.171	-0.826	1.223	0.200	309.627	72.566	14.296
3.217	1.218	1.025	-0.019	-0.124	-0.692	1.223	0.419	664.308	207.943	53.286
2.918	1.251	1.044	-0.013	-0.009	-0.349	1.223	0.906	1476.790	528.037	163.315
2.598	1.286	1.056	-0.006	0.039	-0.207	1.223	1.118	1873.200	1064.035	418.047
2.261	1.323	1.063	0.001	0.063	-0.136	1.223	1.228	2116.480	1736.297	889.903
1.908	1.361	1.065	0.008	0.076	-0.092	1.223	1.295	2295.005	2514.924	1640.243
1.542	1.402	1.062	0.015	0.084	-0.063	1.223	1.335	2438.367	3381.131	2719.221
1.100	1.443	1.053	0.021	0.089	-0.042	1.223	1.356	2548.768	4483.288	4457.258
0.782	1.450	1.061	0.024	0.093	-0.026	1.223	1.389	2622.351	5305.496	6013.675
0.392	1.450	1.068	0.025	0.095	-0.012	1.223	1.414	2669.887	6337.482	8284.055
0.000	1.450	1.070	0.026	0.096	0.000	1.223	1.430	2700.420	7390.062	10974.654

Vzdušné zatížení - kroučící moment

cm0(y)	cm(y)	qMk(y)	Mk(y)
-0.051	0.249	357.372	0.000
-0.051	0.249	358.578	5.728
-0.052	0.248	361.508	23.370
-0.052	0.248	366.883	52.505
-0.053	0.247	374.033	93.997
-0.054	0.246	383.698	148.174
-0.055	0.245	395.248	215.164
-0.056	0.244	408.727	295.963
-0.058	0.242	424.194	391.333
-0.060	0.240	441.747	500.874
-0.062	0.238	460.675	626.311
-0.064	0.236	481.819	767.214
-0.066	0.234	504.454	925.017
-0.068	0.232	528.659	1099.097
-0.070	0.230	553.655	1290.125
-0.073	0.227	581.123	1497.790
-0.076	0.224	607.432	1760.460
-0.076	0.224	613.340	1954.563
-0.076	0.224	613.340	2193.766
-0.076	0.224	613.340	2434.195

Zatížení od setrvačných sil - posouvající síla, ohybový moment, kroučící moment

y	c	qG1(y)	cmxANTI	Mx	Ix	Ex	qG(y)	TG(y)	MoG(y)	MkG(y)
4.750	1.050	-3.077	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-4.773	0.000	0.000	0.000
4.734	1.052	-3.089	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-4.817	-0.077	-0.001	-0.012
4.685	1.057	-3.118	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-4.942	-0.316	-0.010	-0.050
4.605	1.066	-3.172	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-5.157	-0.720	-0.052	-0.114
4.493	1.078	-3.243	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-5.461	-1.314	-0.166	-0.210
4.350	1.094	-3.340	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-5.870	-2.125	-0.411	-0.342
4.178	1.113	-3.457	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-6.383	-3.178	-0.867	-0.516
3.977	1.135	-3.595	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-7.010	-4.524	-1.642	-0.743
3.748	1.160	-3.756	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-7.766	-6.216	-2.871	-1.034
3.495	1.188	-3.939	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-8.659	-8.294	-4.707	-1.400
3.217	1.218	-4.141	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-9.695	-10.845	-7.367	-1.861
2.918	1.251	-4.368	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-10.901	-13.924	-11.070	-2.431
2.598	1.286	-4.616	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-12.281	-17.633	-16.119	-3.137
2.261	1.323	-4.885	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-13.846	-22.036	-22.803	-3.998
1.908	1.361	-5.170	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-15.594	-27.232	-31.499	-5.044
1.542	1.402	-5.486	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-17.583	-33.303	-42.577	-6.302
1.100	1.443	-5.812	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-19.951	-41.598	-59.130	-8.072
0.782	1.450	-5.868	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-21.107	-48.126	-73.396	-9.488
0.392	1.450	-5.868	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-22.286	-56.588	-93.816	-11.329
0.000	1.450	-5.868	0.083	12716.582	2514.451	5.057	-23.472	-65.557	-117.756	-13.280

Výsledné zatížení - posouvající síla, ohybový moment

y	T(y)	Mon(y)	Mot(y)	TG(y)	MoG(y)	Tv(y)	Mvn(y)	Mvt(y)
4.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4.734	0.819	0.006	0.001	-0.077	-0.001	0.742	0.006	0.001
4.685	6.183	0.174	0.038	-0.316	-0.010	5.867	0.164	0.036
4.605	10.484	0.825	0.182	-0.720	-0.052	9.764	0.774	0.171
4.493	7.602	1.814	0.401	-1.314	-0.166	6.288	1.652	0.365
4.350	1.337	2.438	0.539	-2.125	-0.411	-0.787	2.036	0.450
4.178	-4.341	2.186	0.483	-3.178	-0.867	-7.520	1.339	0.296
3.977	-2.961	1.469	0.325	-4.524	-1.642	-7.485	-0.134	-0.030
3.748	16.392	2.971	0.656	-6.216	-2.871	10.176	0.167	0.037
3.495	72.566	13.959	3.083	-8.294	-4.707	64.272	9.363	2.068
3.217	207.943	52.032	11.493	-10.845	-7.367	197.098	44.838	9.904
2.918	528.037	159.471	35.225	-13.924	-11.070	514.113	148.662	32.837
2.598	1064.035	408.207	90.168	-17.633	-16.119	1046.402	392.467	86.691
2.261	1736.297	868.957	191.941	-22.036	-22.803	1714.261	846.690	187.023
1.908	2514.924	1601.636	353.781	-27.232	-31.499	2487.692	1570.878	346.987
1.542	3381.131	2655.217	586.503	-33.303	-42.577	3347.828	2613.642	577.320
1.100	4483.288	4352.345	961.377	-41.598	-59.130	4441.690	4294.606	948.623
0.782	5305.496	5872.127	1297.077	-48.126	-73.396	5257.370	5800.458	1281.246
0.392	6337.482	8089.068	1786.771	-56.588	-93.816	6280.894	7997.460	1766.536
0.000	7390.062	10716.336	2367.100	-65.557	-117.756	7324.506	10601.352	2341.702

Výsledné zatížení - kroutící moment k aeroelastické ose

y	c	Mk(y)	MkEO(y)
4.750	1.050	0.000	0.000
4.734	1.052	5.728	5.771
4.685	1.057	23.370	23.668
4.605	1.066	52.505	53.037
4.493	1.078	93.997	94.480
4.350	1.094	148.174	148.472
4.178	1.113	215.164	215.201
3.977	1.135	295.963	296.210
3.748	1.160	391.333	393.136
3.495	1.188	500.874	506.049
3.217	1.218	626.311	640.516
2.918	1.251	767.214	803.778
2.598	1.286	925.017	998.988
2.261	1.323	1099.097	1224.188
1.908	1.361	1290.125	1462.459
1.542	1.402	1497.790	1732.044
1.100	1.443	1760.460	2068.479
0.782	1.450	1954.563	2269.958
0.392	1.450	2193.766	2570.366
0.000	1.450	2434.195	2873.275

PŘÍPAD 7

Předpoklad 75% zatížení bodu D obálky na každé straně křídla a torzní zatížení křídélka vychýleného na 1/3 plné výchylky

a) výchylka dolů

Vzdušné zatížení - posouvající síla, ohybový moment

y	c	cln	cl0	clkrsym	clkrantis	clkr	cl(y)	q(y)	T(y)	Mo(y)
4.750	1.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.377	0.000	0.000	0.000	0.000
4.734	1.052	0.203	-0.010	-0.005	0.026	0.377	0.087	378.499	3.028	0.024
4.685	1.057	0.386	-0.019	-0.011	0.057	0.377	0.172	747.044	30.604	0.848
4.605	1.066	0.541	-0.025	-0.022	0.097	0.377	0.254	1112.408	104.982	6.272
4.493	1.078	0.669	-0.030	-0.028	0.123	0.377	0.317	1406.877	246.062	25.930
4.350	1.094	0.772	-0.032	-0.032	0.142	0.377	0.368	1655.562	465.026	76.773
4.178	1.113	0.853	-0.033	-0.035	0.154	0.377	0.408	1866.144	767.893	182.804
3.977	1.135	0.915	-0.031	-0.036	0.161	0.377	0.438	2044.796	1160.942	376.652
3.748	1.160	0.963	-0.029	-0.035	0.161	0.377	0.460	2194.483	1646.340	698.086
3.495	1.188	0.999	-0.024	-0.032	0.152	0.377	0.473	2310.259	2216.189	1186.696
3.217	1.218	1.025	-0.019	-0.023	0.128	0.377	0.472	2364.601	2865.995	1893.119
2.918	1.251	1.044	-0.013	-0.002	0.064	0.377	0.443	2279.985	3560.360	2853.859
2.598	1.286	1.056	-0.006	0.007	0.038	0.377	0.437	2310.945	4294.909	4110.702
2.261	1.323	1.063	0.001	0.012	0.025	0.377	0.438	2382.115	5085.690	5691.333
1.908	1.361	1.065	0.008	0.014	0.017	0.377	0.440	2462.936	5940.841	7637.516
1.542	1.402	1.062	0.015	0.016	0.012	0.377	0.442	2547.558	6857.762	9979.661
1.100	1.443	1.053	0.021	0.016	0.008	0.377	0.441	2618.496	7999.460	13263.107
0.782	1.450	1.061	0.024	0.017	0.005	0.377	0.445	2654.451	8837.859	15940.240
0.392	1.450	1.068	0.025	0.018	0.002	0.377	0.447	2665.096	9875.170	19589.281
0.000	1.450	1.070	0.026	0.018	0.000	0.377	0.446	2659.076	10918.708	23664.881

Vzdušné zatížení - kroučící moment

cm0(y)	cm(y)	qMk(y)	Mk(y)
-0.091	-0.141	-637.996	0.000
-0.091	-0.141	-641.109	-10.233
-0.091	-0.141	-649.321	-41.848
-0.092	-0.142	-663.919	-94.378
-0.093	-0.143	-683.952	-169.859
-0.094	-0.144	-710.981	-269.596
-0.096	-0.146	-744.079	-394.732
-0.098	-0.148	-783.734	-548.277
-0.100	-0.150	-830.480	-733.104
-0.102	-0.152	-884.777	-950.084
-0.105	-0.155	-945.873	-1204.545
-0.108	-0.158	-1015.802	-1497.815
-0.111	-0.161	-1093.771	-1835.347
-0.114	-0.164	-1180.280	-2218.525
-0.117	-0.167	-1274.180	-2651.737
-0.121	-0.171	-1379.749	-3137.406
-0.125	-0.175	-1496.991	-3773.165
-0.125	-0.175	-1511.550	-4251.523
-0.125	-0.175	-1511.550	-4841.028
-0.125	-0.175	-1511.550	-5433.556

Zatížení od setrvačných sil - posouvající síla, ohybový moment, kroutící moment

y	c	qG1(y)	cmxANTI	Mx	Ix	Ex	qG(y)	TG(y)	MoG(y)	MkG(y)
4.750	1.050	-3.077	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-16.844	0.000	0.000	0.000
4.734	1.052	-3.089	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-16.892	-0.270	-0.002	-0.043
4.685	1.057	-3.118	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-17.006	-1.100	-0.036	-0.174
4.605	1.066	-3.172	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-17.218	-2.469	-0.179	-0.392
4.493	1.078	-3.243	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-17.495	-4.413	-0.564	-0.704
4.350	1.094	-3.340	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-17.870	-6.942	-1.376	-1.116
4.178	1.113	-3.457	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-18.312	-10.054	-2.837	-1.631
3.977	1.135	-3.595	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-18.819	-13.785	-5.233	-2.261
3.748	1.160	-3.756	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-19.390	-18.160	-8.891	-3.014
3.495	1.188	-3.939	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-20.028	-23.146	-14.116	-3.892
3.217	1.218	-4.141	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-20.695	-28.807	-21.338	-4.913
2.918	1.251	-4.368	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-21.426	-35.104	-30.892	-6.079
2.598	1.286	-4.616	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-22.184	-42.082	-43.242	-7.407
2.261	1.323	-4.885	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-22.968	-49.690	-58.706	-8.896
1.908	1.361	-5.170	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-23.740	-57.934	-77.701	-10.555
1.542	1.402	-5.486	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-24.569	-66.774	-100.523	-12.387
1.100	1.443	-5.812	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-25.230	-77.780	-132.469	-14.735
0.782	1.450	-5.868	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-24.896	-85.750	-158.471	-16.465
0.392	1.450	-5.868	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-24.186	-95.321	-193.779	-18.546
0.000	1.450	-5.868	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-23.472	-104.662	-232.976	-20.578

Výsledné zatížení - posouvající síla, ohybový moment

y	T(y)	Mon(y)	Mot(y)	TG(y)	MoG(y)	Tv(y)	Mvn(y)	Mvt(y)
4.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4.734	3.028	0.024	0.001	-0.270	-0.002	2.758	0.022	0.001
4.685	30.604	0.848	0.025	-1.100	-0.036	29.503	0.812	0.024
4.605	104.982	6.269	0.185	-2.469	-0.179	102.513	6.090	0.179
4.493	246.062	25.919	0.764	-4.413	-0.564	241.649	25.355	0.747
4.350	465.026	76.740	2.261	-6.942	-1.376	458.084	75.364	2.221
4.178	767.893	182.725	5.385	-10.054	-2.837	757.839	179.888	5.301
3.977	1160.942	376.488	11.094	-13.785	-5.233	1147.157	371.257	10.940
3.748	1646.340	697.783	20.562	-18.160	-8.891	1628.180	688.896	20.300
3.495	2216.189	1186.181	34.954	-23.146	-14.116	2193.043	1172.071	34.538
3.217	2865.995	1892.298	55.762	-28.807	-21.338	2837.188	1870.969	55.133
2.918	3560.360	2852.621	84.061	-35.104	-30.892	3525.256	2821.742	83.151
2.598	4294.909	4108.919	121.081	-42.082	-43.242	4252.828	4065.695	119.807
2.261	5085.690	5688.864	167.639	-49.690	-58.706	5036.000	5630.184	165.909
1.908	5940.841	7634.202	224.964	-57.934	-77.701	5882.908	7556.535	222.675
1.542	6857.762	9975.330	293.952	-66.774	-100.523	6790.988	9874.851	290.991
1.100	7999.460	13257.352	390.666	-77.780	-132.469	7921.680	13124.940	386.764
0.782	8837.859	15933.324	469.521	-85.750	-158.471	8752.109	15774.922	464.853
0.392	9875.170	19580.781	577.004	-95.321	-193.779	9779.849	19387.086	571.296
0.000	10918.708	23654.613	697.051	-104.662	-232.976	10814.046	23421.738	690.188

Výsledné zatížení - kroutící moment k aeroelastické ose

y	c	Mk(y)	MkEO(y)
4.750	1.050	0.000	0.000
4.734	1.052	-10.233	-10.074
4.685	1.057	-41.848	-40.427
4.605	1.066	-94.378	-89.612
4.493	1.078	-169.859	-158.725
4.350	1.094	-269.596	-238.746
4.178	1.113	-394.732	-343.324
3.977	1.135	-548.277	-465.744
3.748	1.160	-733.104	-614.507
3.495	1.188	-950.084	-819.816
3.217	1.218	-1204.545	-1023.319
2.918	1.251	-1497.815	-1258.420
2.598	1.286	-1835.347	-1540.419
2.261	1.323	-2218.525	-1854.029
1.908	1.361	-2651.737	-2245.520
1.542	1.402	-3137.406	-2662.391
1.100	1.443	-3773.165	-3223.042
0.782	1.450	-4251.523	-3725.251
0.392	1.450	-4841.028	-4253.064
0.000	1.450	-5433.556	-4783.577

b) výchylka nahoru

Vzdušné zatížení - posouvající síla, ohybový moment

y	c	cln	cl0	clksym	clkrantis	clkr	cl(y)	q(y)	T(y)	Mo(y)
4.750	1.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.377	0.000	0.000	0.000	0.000
4.734	1.052	0.203	-0.010	-0.005	-0.026	0.377	0.036	157.402	1.259	0.010
4.685	1.057	0.386	-0.019	-0.011	-0.057	0.377	0.059	254.929	11.361	0.319
4.605	1.066	0.541	-0.025	-0.022	-0.097	0.377	0.060	263.165	32.085	2.057
4.493	1.078	0.669	-0.030	-0.028	-0.123	0.377	0.071	315.749	64.504	7.466
4.350	1.094	0.772	-0.032	-0.032	-0.142	0.377	0.084	379.959	114.247	20.247
4.178	1.113	0.853	-0.033	-0.035	-0.154	0.377	0.099	455.319	186.081	46.075
3.977	1.135	0.915	-0.031	-0.036	-0.161	0.377	0.117	545.866	286.700	93.590
3.748	1.160	0.963	-0.029	-0.035	-0.161	0.377	0.139	661.583	424.953	175.074
3.495	1.188	0.999	-0.024	-0.032	-0.152	0.377	0.168	820.978	612.497	306.312
3.217	1.218	1.025	-0.019	-0.023	-0.128	0.377	0.217	1085.681	877.523	513.424
2.918	1.251	1.044	-0.013	-0.002	-0.064	0.377	0.314	1617.797	1281.693	836.227
2.598	1.286	1.056	-0.006	0.007	-0.038	0.377	0.361	1907.912	1845.806	1336.627
2.261	1.323	1.063	0.001	0.012	-0.025	0.377	0.388	2110.049	2522.833	2072.743
1.908	1.361	1.065	0.008	0.014	-0.017	0.377	0.406	2273.177	3296.472	3099.850
1.542	1.402	1.062	0.015	0.016	-0.012	0.377	0.419	2413.781	4154.185	4463.320
1.100	1.443	1.053	0.021	0.016	-0.008	0.377	0.426	2527.693	5246.251	6540.817
0.782	1.450	1.061	0.024	0.017	-0.005	0.377	0.436	2597.797	6061.204	8338.702
0.392	1.450	1.068	0.025	0.018	-0.002	0.377	0.442	2638.259	7082.235	10901.673
0.000	1.450	1.070	0.026	0.018	0.000	0.377	0.446	2659.076	8120.513	13881.412

Vzdušné zatížení - kroučící moment

cm0(y)	cm(y)	qMk(y)	Mk(y)
-0.091	0.009	42.170	0.000
-0.091	0.009	41.651	0.671
-0.091	0.009	39.944	2.670
-0.092	0.008	37.134	5.753
-0.093	0.007	32.974	9.679
-0.094	0.006	27.384	13.994
-0.096	0.004	20.156	18.083
-0.098	0.002	11.011	21.215
-0.100	0.000	-0.338	22.437
-0.102	-0.002	-14.075	20.614
-0.105	-0.005	-30.642	14.398
-0.108	-0.008	-50.305	2.297
-0.111	-0.011	-73.494	-17.511
-0.114	-0.014	-100.449	-46.821
-0.117	-0.017	-131.426	-87.747
-0.121	-0.021	-167.107	-142.378
-0.125	-0.025	-212.388	-226.247
-0.125	-0.025	-214.453	-294.114
-0.125	-0.025	-214.453	-377.751
-0.125	-0.025	-214.453	-461.817

Zatížení od setrvačných sil - posouvající síla, ohybový moment, kroučící moment

y	c	qG1(y)	cmxANTI	Mx	Ix	Ex	qG(y)	TG(y)	MoG(y)	MkG(y)
4.750	1.050	-3.077	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-7.773	0.000	0.000	0.000
4.734	1.052	-3.089	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-7.818	-0.125	-0.001	-0.020
4.685	1.057	-3.118	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-7.940	-0.511	-0.017	-0.081
4.605	1.066	-3.172	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-8.154	-1.155	-0.083	-0.183
4.493	1.078	-3.243	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-8.452	-2.085	-0.265	-0.333
4.350	1.094	-3.340	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-8.853	-3.322	-0.651	-0.534
4.178	1.113	-3.457	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-9.347	-4.887	-1.357	-0.793
3.977	1.135	-3.595	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-9.945	-6.826	-2.534	-1.120
3.748	1.160	-3.756	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-10.655	-9.185	-4.367	-1.526
3.495	1.188	-3.939	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-11.484	-11.985	-7.045	-2.019
3.217	1.218	-4.141	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-12.429	-15.309	-10.839	-2.619
2.918	1.251	-4.368	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-13.517	-19.188	-15.997	-3.338
2.598	1.286	-4.616	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-14.742	-23.709	-22.860	-4.198
2.261	1.323	-4.885	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-16.113	-28.909	-31.726	-5.215
1.908	1.361	-5.170	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-17.619	-34.862	-42.982	-6.414
1.542	1.402	-5.486	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-19.319	-41.622	-56.979	-7.814
1.100	1.443	-5.812	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-21.263	-50.591	-77.358	-9.728
0.782	1.450	-5.868	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-22.048	-57.477	-94.540	-11.222
0.392	1.450	-5.868	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-22.759	-66.214	-118.660	-13.123
0.000	1.450	-5.868	0.015	7653.838	2514.451	3.044	-23.472	-75.276	-146.392	-15.094

Výsledné zatížení - posouvající síla, ohybový moment

y	T(y)	Mon(y)	Mot(y)	TG(y)	MoG(y)	Tv(y)	Mvn(y)	Mvt(y)
4.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4.734	1.259	0.010	0.000	-0.125	-0.001	1.134	0.009	0.000
4.685	11.361	0.319	0.009	-0.511	-0.017	10.851	0.303	0.009
4.605	32.085	2.056	0.061	-1.155	-0.083	30.931	1.973	0.058
4.493	64.504	7.463	0.220	-2.085	-0.265	62.420	7.198	0.212
4.350	114.247	20.238	0.596	-3.322	-0.651	110.926	19.587	0.577
4.178	186.081	46.055	1.357	-4.887	-1.357	181.194	44.699	1.317
3.977	286.700	93.549	2.757	-6.826	-2.534	279.875	91.016	2.682
3.748	424.953	174.998	5.157	-9.185	-4.367	415.769	170.633	5.028
3.495	612.497	306.179	9.022	-11.985	-7.045	600.512	299.136	8.815
3.217	877.523	513.202	15.123	-15.309	-10.839	862.214	502.367	14.804
2.918	1281.693	835.864	24.631	-19.188	-15.997	1262.505	819.875	24.160
2.598	1845.806	1336.047	39.370	-23.709	-22.860	1822.097	1313.197	38.697
2.261	2522.833	2071.844	61.053	-28.909	-31.726	2493.924	2040.131	60.118
1.908	3296.472	3098.505	91.306	-34.862	-42.982	3261.610	3055.542	90.040
1.542	4154.185	4461.384	131.467	-41.622	-56.979	4112.564	4404.430	129.789
1.100	5246.251	6537.979	192.660	-50.591	-77.358	5195.661	6460.655	190.382
0.782	6061.204	8335.084	245.617	-57.477	-94.540	6003.727	8240.585	242.832
0.392	7082.235	10896.943	321.109	-66.214	-118.660	7016.021	10778.334	317.614
0.000	8120.513	13875.388	408.878	-75.276	-146.392	8045.237	13729.060	404.566

Výsledné zatížení - kroutící moment k aeroelastické ose

y	c	Mk(y)	MkEO(y)
4.750	1.050	0.000	0.000
4.734	1.052	0.671	0.738
4.685	1.057	2.670	3.209
4.605	1.066	5.753	7.256
4.493	1.078	9.679	12.707
4.350	1.094	13.994	21.734
4.178	1.113	18.083	30.789
3.977	1.135	21.215	41.940
3.748	1.160	22.437	53.513
3.495	1.188	20.614	57.291
3.217	1.218	14.398	70.670
2.918	1.251	2.297	89.273
2.598	1.286	-17.511	109.945
2.261	1.323	-46.821	134.538
1.908	1.361	-87.747	138.029
1.542	1.402	-142.378	145.536
1.100	1.443	-226.247	134.476
0.782	1.450	-294.114	66.603
0.392	1.450	-377.751	43.580
0.000	1.450	-461.817	21.179

PŘÍPAD 8Kladný obratový případ bodu A obálky, $n = 4$

Vzdušné zatížení - posouvající síla, ohybový moment

y	c	cln	cl0	clkr	cl(y)	q(y)	T(y)	Mo(y)
4.750	1.050	0.000	0.000	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000
4.734	1.052	0.203	-0.010	1.590	0.312	427.773	3.422	0.027
4.685	1.057	0.386	-0.019	1.590	0.594	818.146	33.947	0.943
4.605	1.066	0.541	-0.025	1.590	0.835	1159.275	113.044	6.823
4.493	1.078	0.669	-0.030	1.590	1.034	1451.729	259.260	27.672
4.350	1.094	0.772	-0.032	1.590	1.195	1702.137	484.762	80.869
4.178	1.113	0.853	-0.033	1.590	1.323	1917.337	796.036	191.018
3.977	1.135	0.915	-0.031	1.590	1.424	2104.282	1200.209	391.640
3.748	1.160	0.963	-0.029	1.590	1.503	2270.068	1701.072	723.837
3.495	1.188	0.999	-0.024	1.590	1.564	2420.075	2294.375	1229.261
3.217	1.218	1.025	-0.019	1.590	1.611	2555.926	2986.039	1963.239
2.918	1.251	1.044	-0.013	1.590	1.647	2683.295	3769.303	2973.163
2.598	1.286	1.056	-0.006	1.590	1.673	2802.243	4646.989	4319.769
2.261	1.323	1.063	0.001	1.590	1.691	2913.557	5610.101	6048.089
1.908	1.361	1.065	0.008	1.590	1.701	3015.181	6656.524	8213.148
1.542	1.402	1.062	0.015	1.590	1.703	3110.010	7777.434	10854.562
1.100	1.443	1.053	0.021	1.590	1.695	3186.085	9168.870	14599.696
0.782	1.450	1.061	0.024	1.590	1.711	3230.702	10189.140	17677.619
0.392	1.450	1.068	0.025	1.590	1.723	3253.163	11453.493	21897.933
0.000	1.450	1.070	0.026	1.590	1.726	3260.223	12730.117	26637.920

Vzdušné zatížení - kroutící moment

cm0(y)	qMk(y)	Mk(y)
-0.051	-73.370	0.000
-0.051	-73.807	-1.177
-0.052	-74.996	-4.823
-0.052	-77.087	-10.906
-0.053	-79.988	-19.703
-0.054	-83.901	-31.421
-0.055	-88.733	-46.267
-0.056	-94.576	-64.690
-0.058	-101.526	-87.144
-0.060	-109.659	-113.859
-0.062	-118.931	-145.633
-0.064	-129.620	-182.791
-0.066	-141.677	-226.199
-0.068	-155.187	-276.220
-0.070	-170.039	-333.622
-0.073	-186.829	-398.929
-0.076	-206.093	-485.765
-0.076	-208.098	-551.622
-0.076	-208.098	-632.780
-0.076	-208.098	-714.354

Zatížení od setrvačných sil - posouvající síla, ohybový moment, kroučící moment

y	c	qG1(y)	qG(y)	TG(y)	MoG(y)	MkG(y)
4.750	1.050	-3.077	-12.308	0.000	0.000	0.000
4.734	1.052	-3.089	-12.355	-0.197	-0.002	-0.031
4.685	1.057	-3.118	-12.473	-0.806	-0.026	-0.127
4.605	1.066	-3.172	-12.686	-1.812	-0.131	-0.288
4.493	1.078	-3.243	-12.974	-3.249	-0.414	-0.519
4.350	1.094	-3.340	-13.361	-5.132	-1.013	-0.825
4.178	1.113	-3.457	-13.830	-7.470	-2.097	-1.212
3.977	1.135	-3.595	-14.382	-10.306	-3.884	-1.690
3.748	1.160	-3.756	-15.022	-13.672	-6.629	-2.270
3.495	1.188	-3.939	-15.756	-17.566	-10.581	-2.956
3.217	1.218	-4.141	-16.562	-22.058	-16.089	-3.766
2.918	1.251	-4.368	-17.472	-27.146	-23.445	-4.708
2.598	1.286	-4.616	-18.463	-32.896	-33.051	-5.802
2.261	1.323	-4.885	-19.541	-39.299	-45.216	-7.055
1.908	1.361	-5.170	-20.679	-46.398	-60.342	-8.484
1.542	1.402	-5.486	-21.944	-54.198	-78.751	-10.101
1.100	1.443	-5.812	-23.246	-64.185	-104.913	-12.232
0.782	1.450	-5.868	-23.472	-71.613	-126.505	-13.844
0.392	1.450	-5.868	-23.472	-80.768	-156.220	-15.835
0.000	1.450	-5.868	-23.472	-89.969	-189.684	-17.836

Výsledné zatížení - posouvající síla, ohybový moment

y	T(y)	Mon(y)	Mot(y)	TG(y)	MoG(y)	Tv(y)	Mvn(y)	Mvt(y)
4.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4.734	3.422	0.026	0.008	-0.197	-0.002	3.225	0.025	0.008
4.685	33.947	0.901	0.278	-0.806	-0.026	33.142	0.876	0.270
4.605	113.044	6.520	2.008	-1.812	-0.131	111.232	6.395	1.970
4.493	259.260	26.446	8.146	-3.249	-0.414	256.011	26.050	8.024
4.350	484.762	77.286	23.806	-5.132	-1.013	479.630	76.317	23.507
4.178	796.036	182.554	56.230	-7.470	-2.097	788.566	180.550	55.613
3.977	1200.209	374.287	115.287	-10.306	-3.884	1189.904	370.576	114.144
3.748	1701.072	691.765	213.076	-13.672	-6.629	1687.400	685.429	211.125
3.495	2294.375	1174.794	361.858	-17.566	-10.581	2276.809	1164.682	358.744
3.217	2986.039	1876.250	577.920	-22.058	-16.089	2963.981	1860.875	573.184
2.918	3769.303	2841.426	875.211	-27.146	-23.445	3742.157	2819.020	868.310
2.598	4646.989	4128.366	1271.613	-32.896	-33.051	4614.093	4096.779	1261.883
2.261	5610.101	5780.106	1780.379	-39.299	-45.216	5570.802	5736.894	1767.069
1.908	6656.524	7849.235	2417.709	-46.398	-60.342	6610.126	7791.567	2399.946
1.542	7777.434	10373.611	3195.263	-54.198	-78.751	7723.235	10298.350	3172.081
1.100	9168.870	13952.803	4297.720	-64.185	-104.913	9104.685	13852.538	4266.837
0.782	10189.140	16894.348	5203.770	-71.613	-126.505	10117.526	16773.448	5166.531
0.392	11453.493	20927.665	6446.106	-80.768	-156.220	11372.726	20778.367	6400.120
0.000	12730.117	25457.630	7841.419	-89.969	-189.684	12640.148	25276.351	7785.581

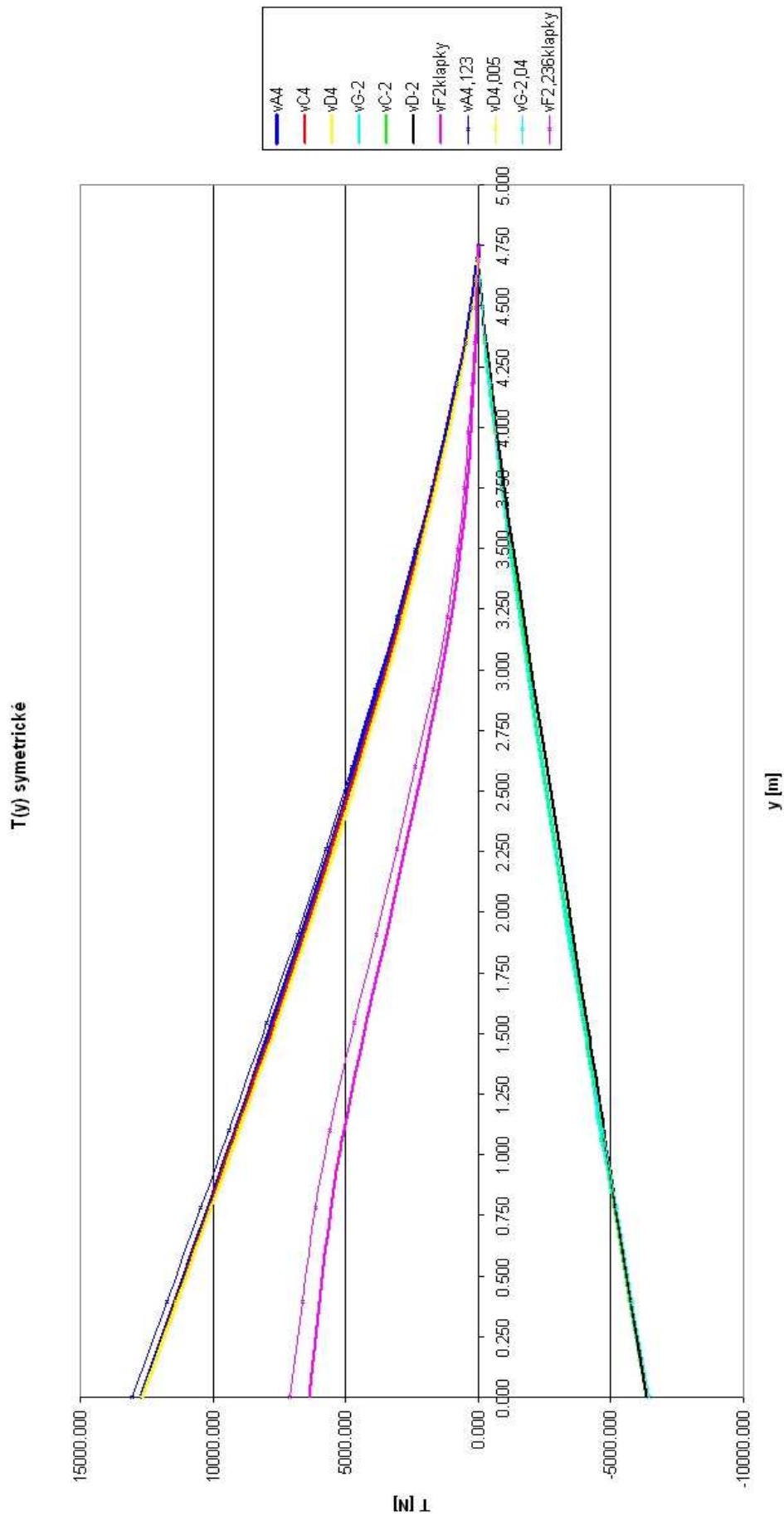
Výsledné zatížení - kroutící moment k aeroelastické ose

y	c	Mk(y)	MkEO(y)
4.750	1.050	0.000	0.000
4.734	1.052	-1.177	-1.011
4.685	1.057	-4.823	-3.294
4.605	1.066	-10.906	-5.874
4.493	1.078	-19.703	-8.138
4.350	1.094	-31.421	0.530
4.178	1.113	-46.267	6.726
3.977	1.135	-64.690	20.239
3.748	1.160	-87.144	34.872
3.495	1.188	-113.859	20.234
3.217	1.218	-145.633	42.223
2.918	1.251	-182.791	69.435
2.598	1.286	-226.199	91.321
2.261	1.323	-276.220	123.875
1.908	1.361	-333.622	118.993
1.542	1.402	-398.929	136.722
1.100	1.443	-485.765	141.055
0.782	1.450	-551.622	50.771
0.392	1.450	-632.780	44.405
0.000	1.450	-714.354	38.343

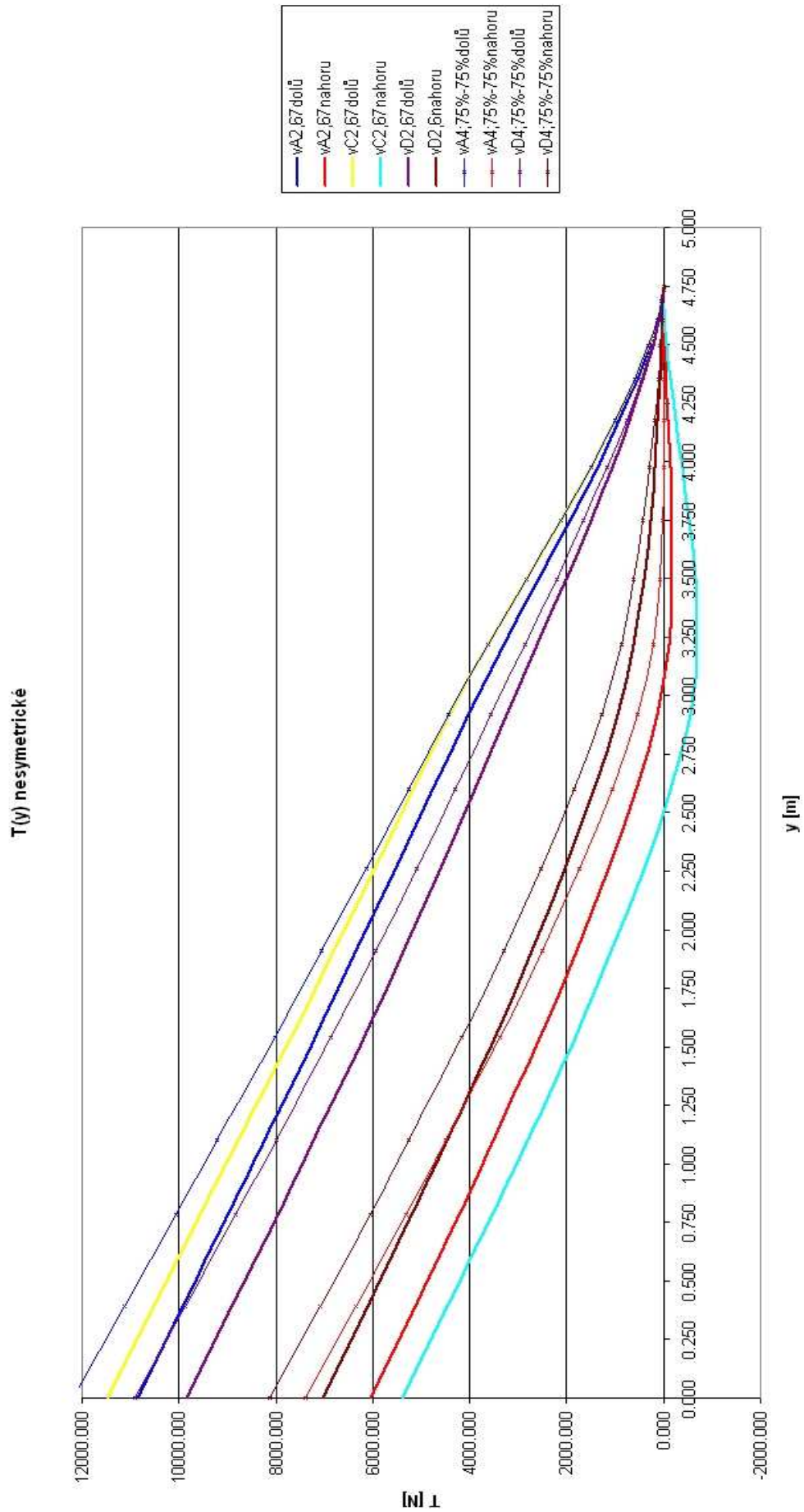
Průběhy zatížení:

- tenká čára se symbolem \Rightarrow případy zatížení dle předpisu F2245-04 (číslo určuje celkový násobek získaný součtem násobku v normálovém a tečném směru)
- silná čára \Rightarrow další případy zatížení

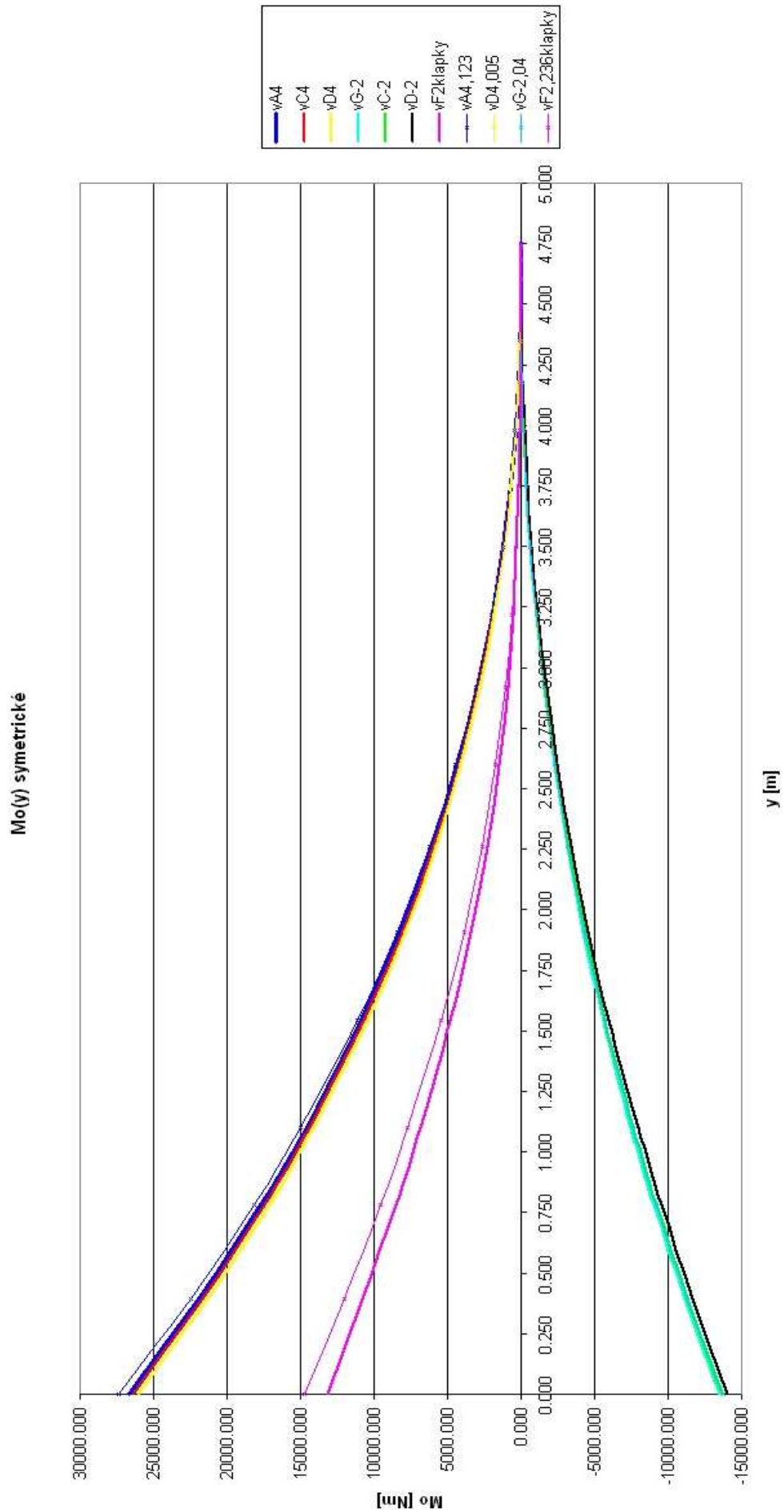
Vzdušné zatížení - posouvající síla - symetrické případy



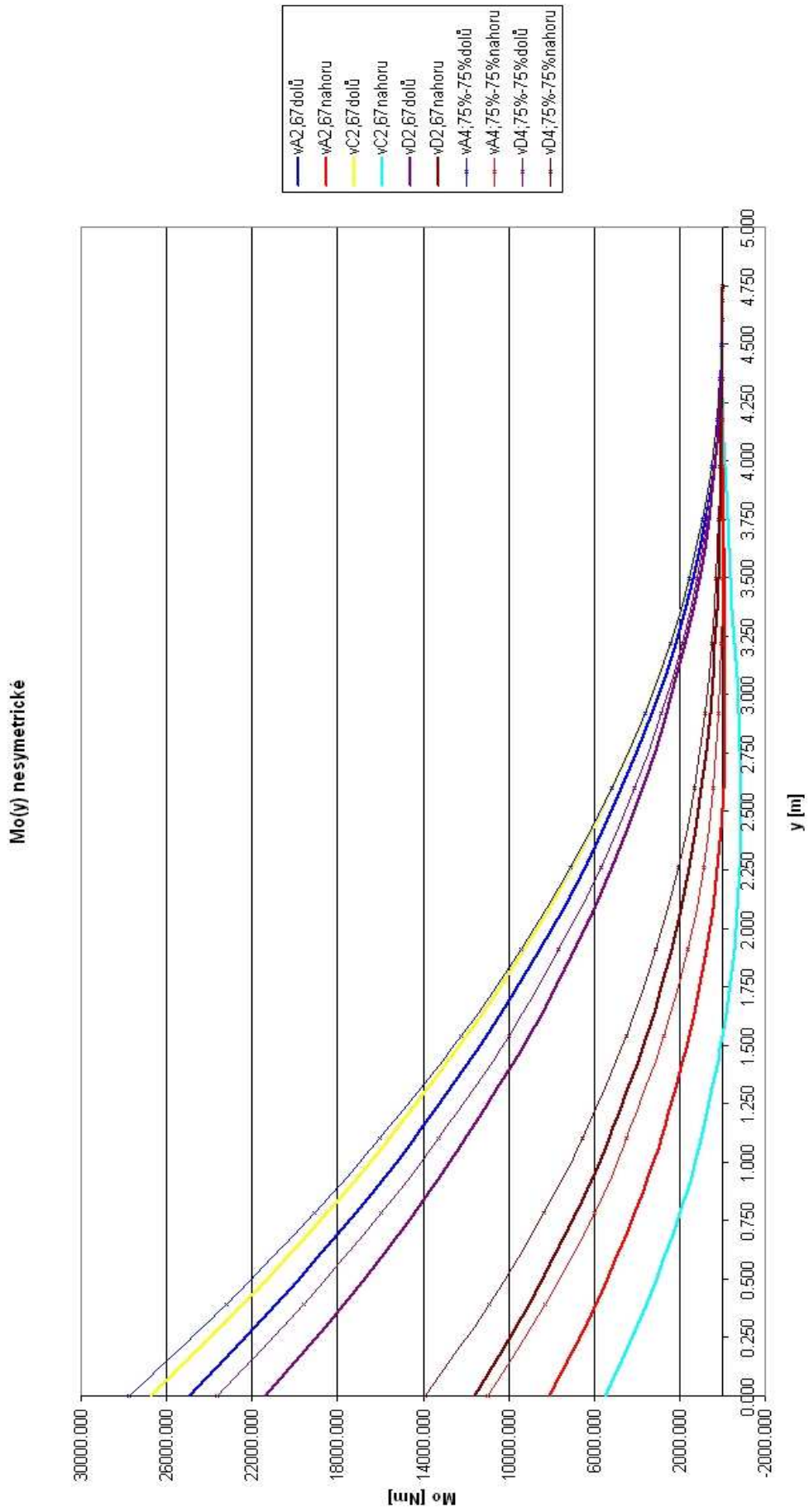
Vzdušné zatížení - posouvající síla - nesymetrické případy



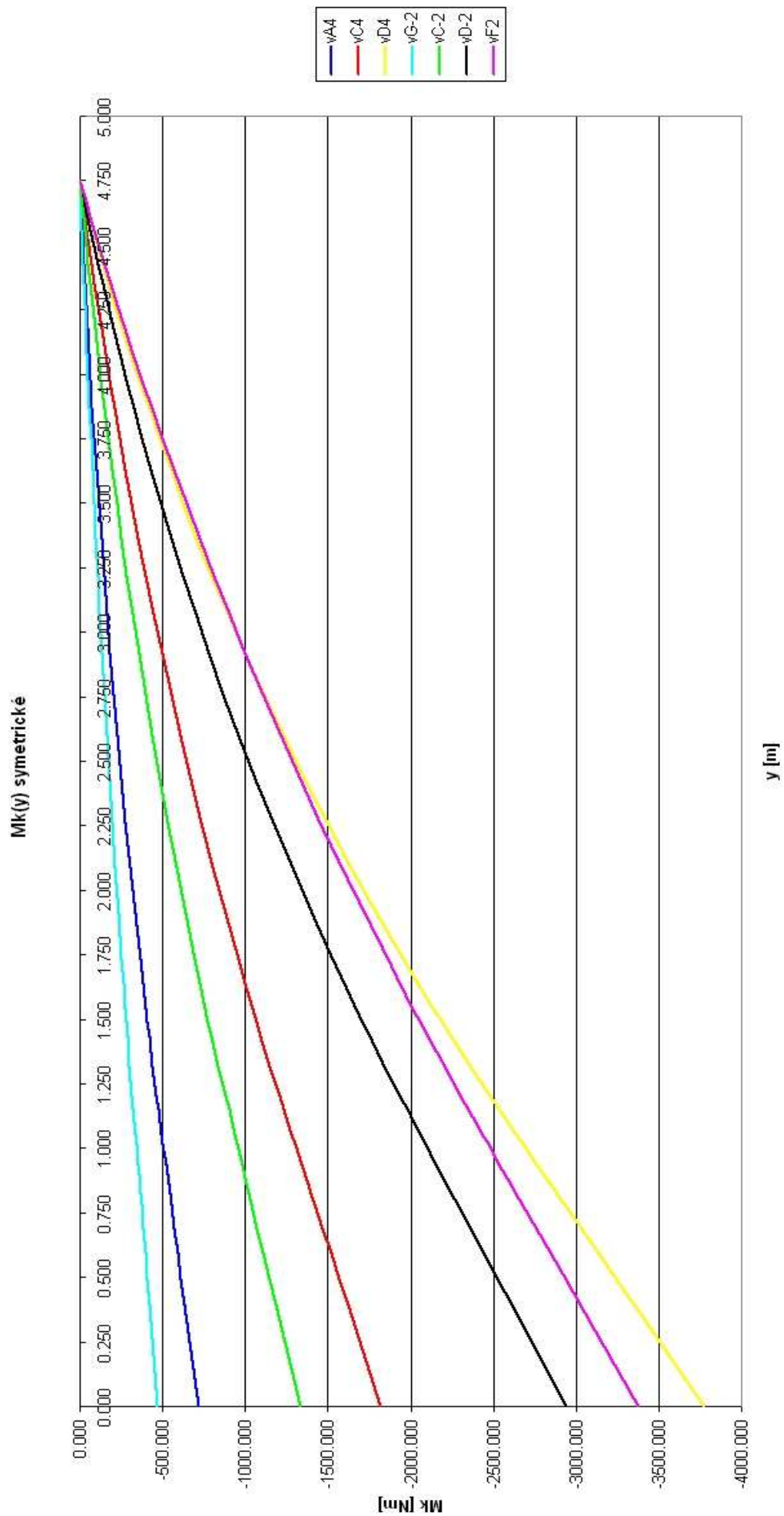
Vzdušné zatížení - ohybový moment - symetrické případy



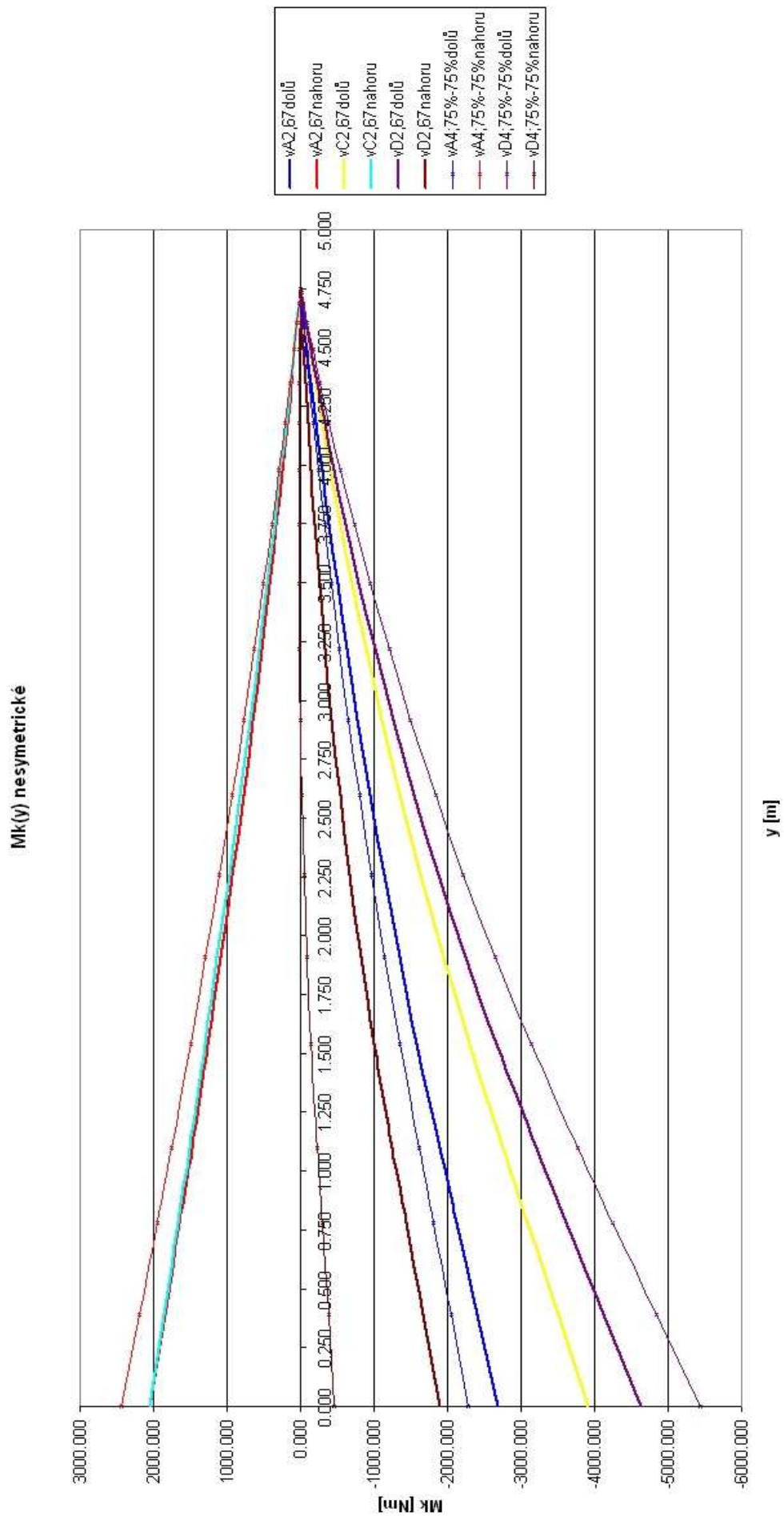
Vzdušné zatížení - ohybový moment - nesymetrické případy



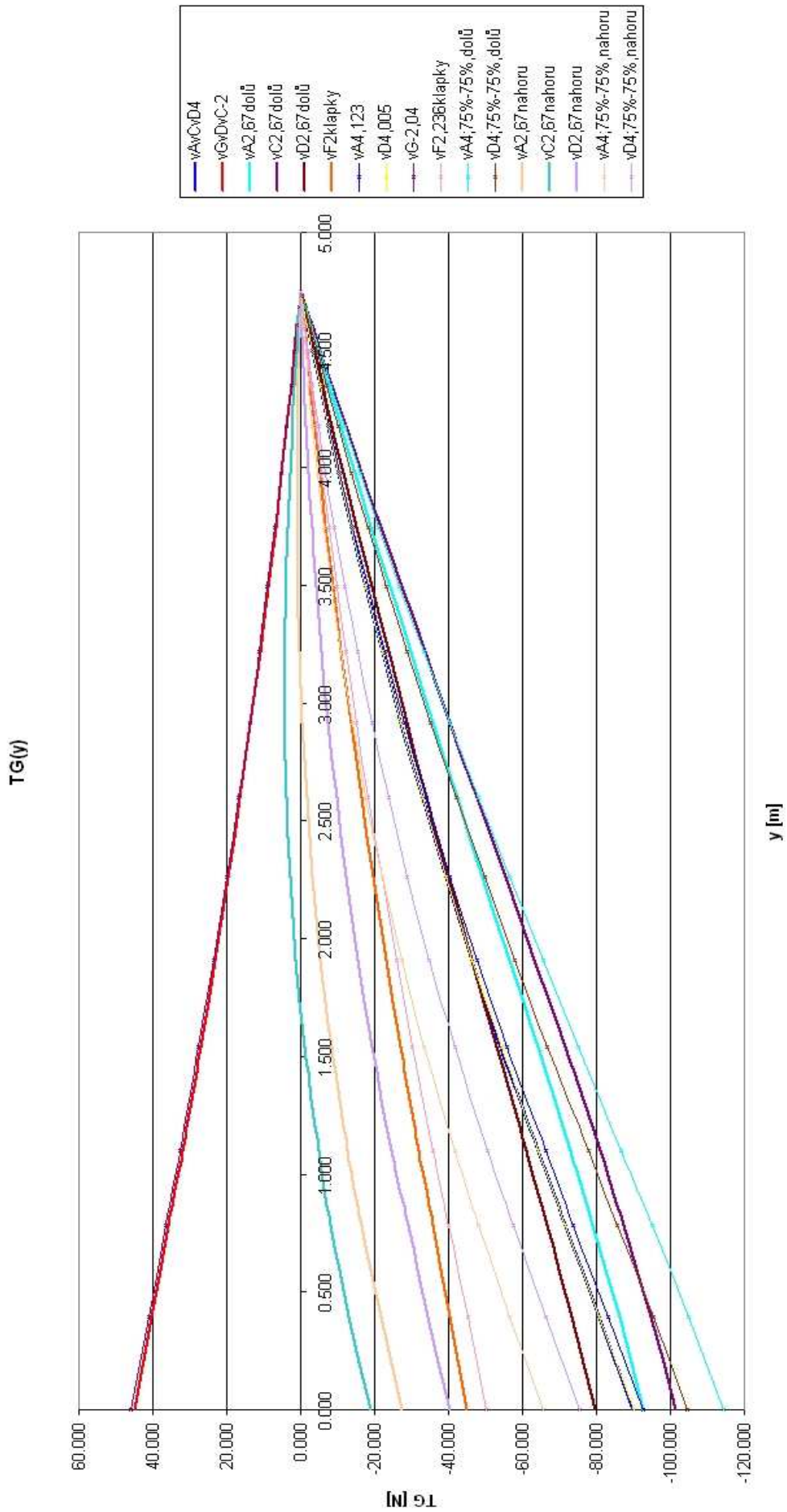
Vzdušné zatížení - kroučící moment - symetrické případy



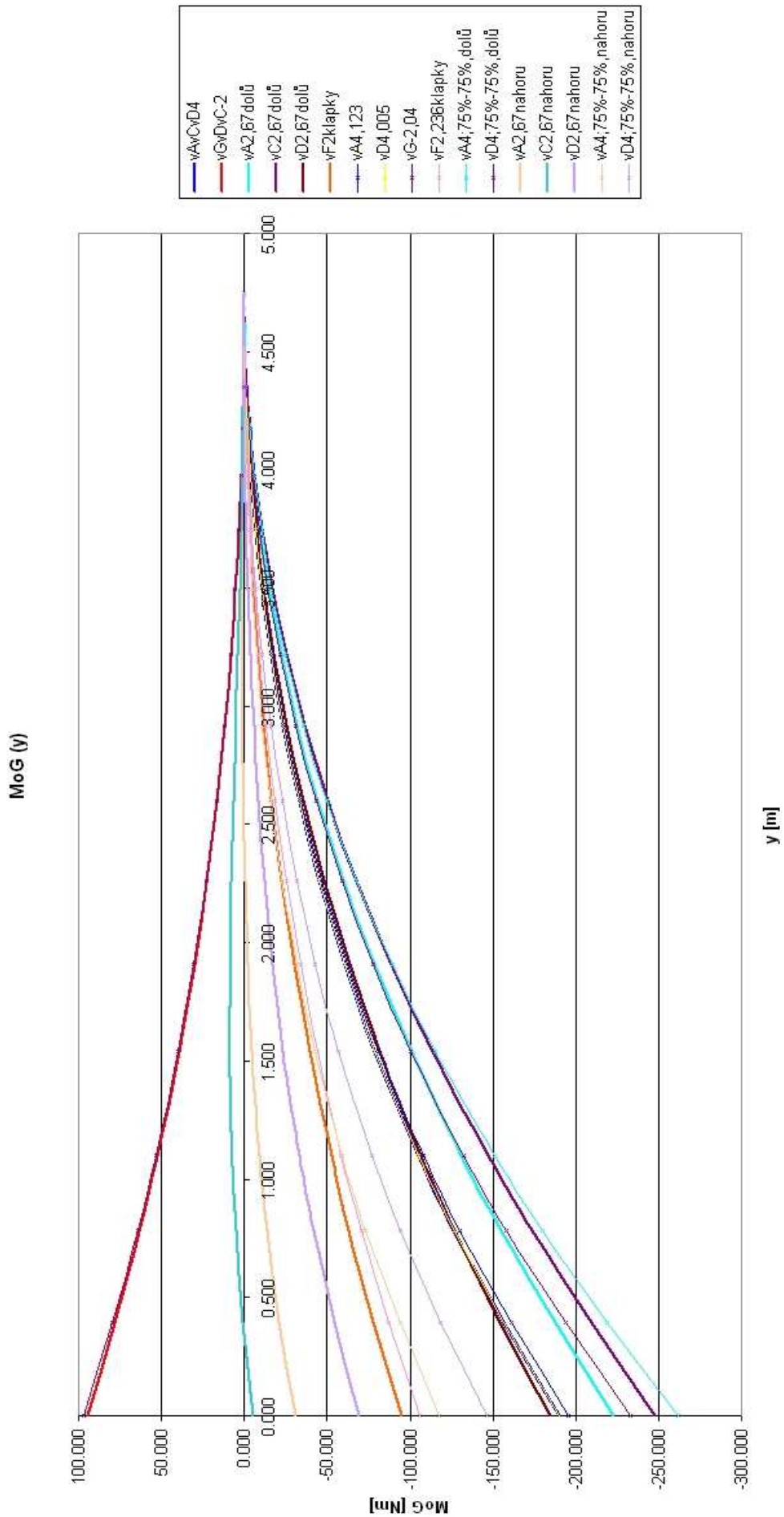
Vzdušné zatížení - kroučící moment - nesymetrické případy



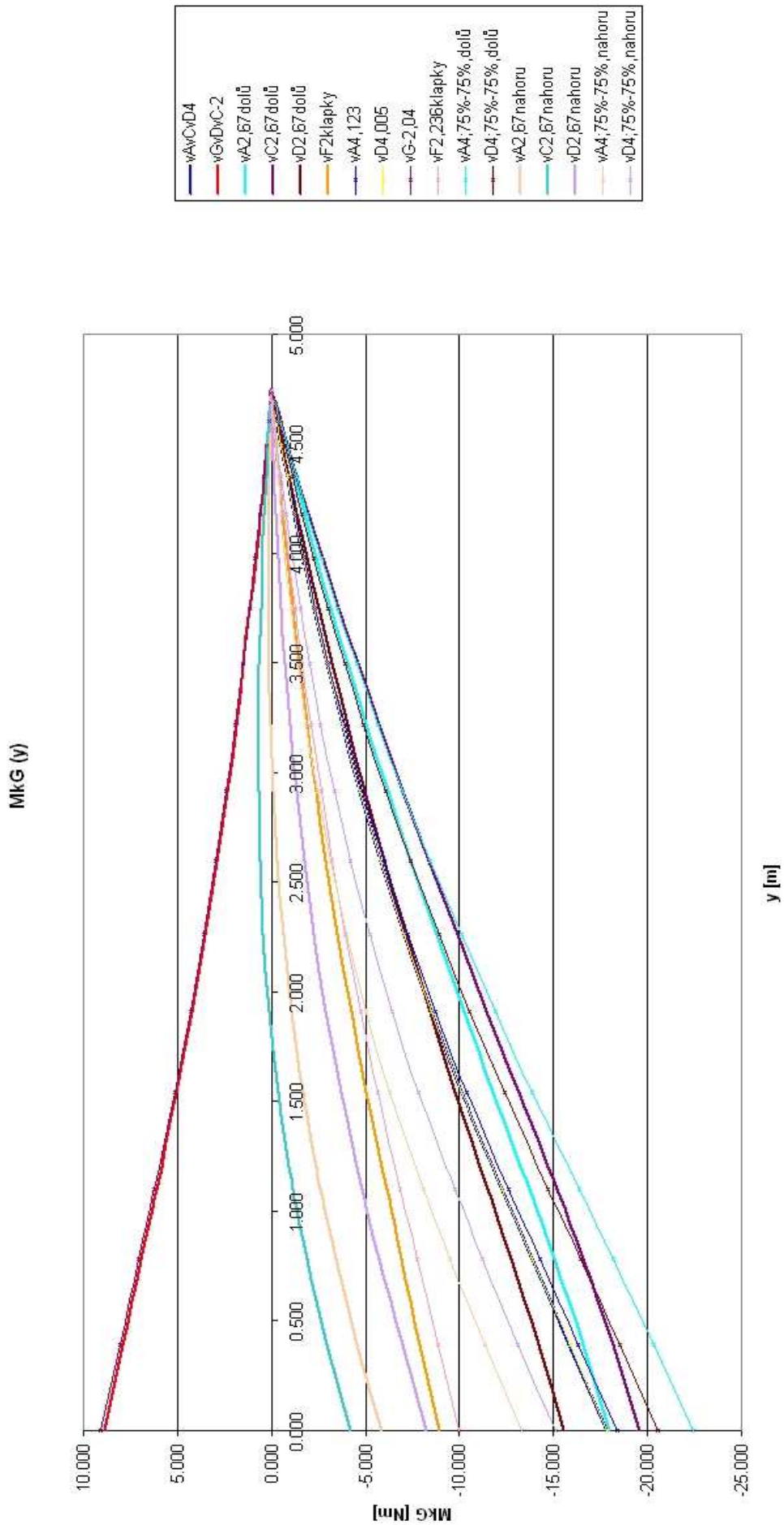
Zatížení od setrvačných sil - posouvající síla



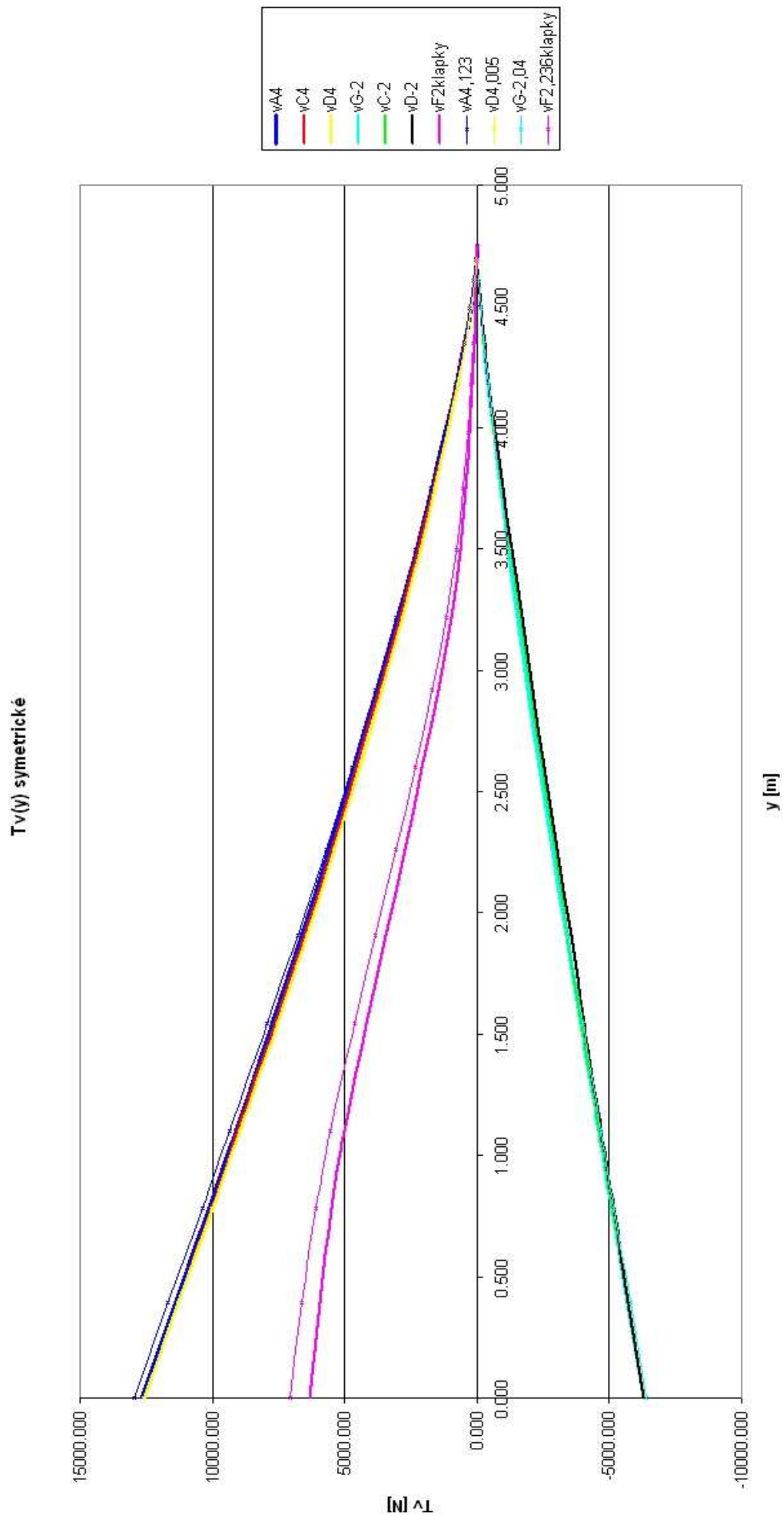
Zatížení od setrvačných sil - ohybový moment



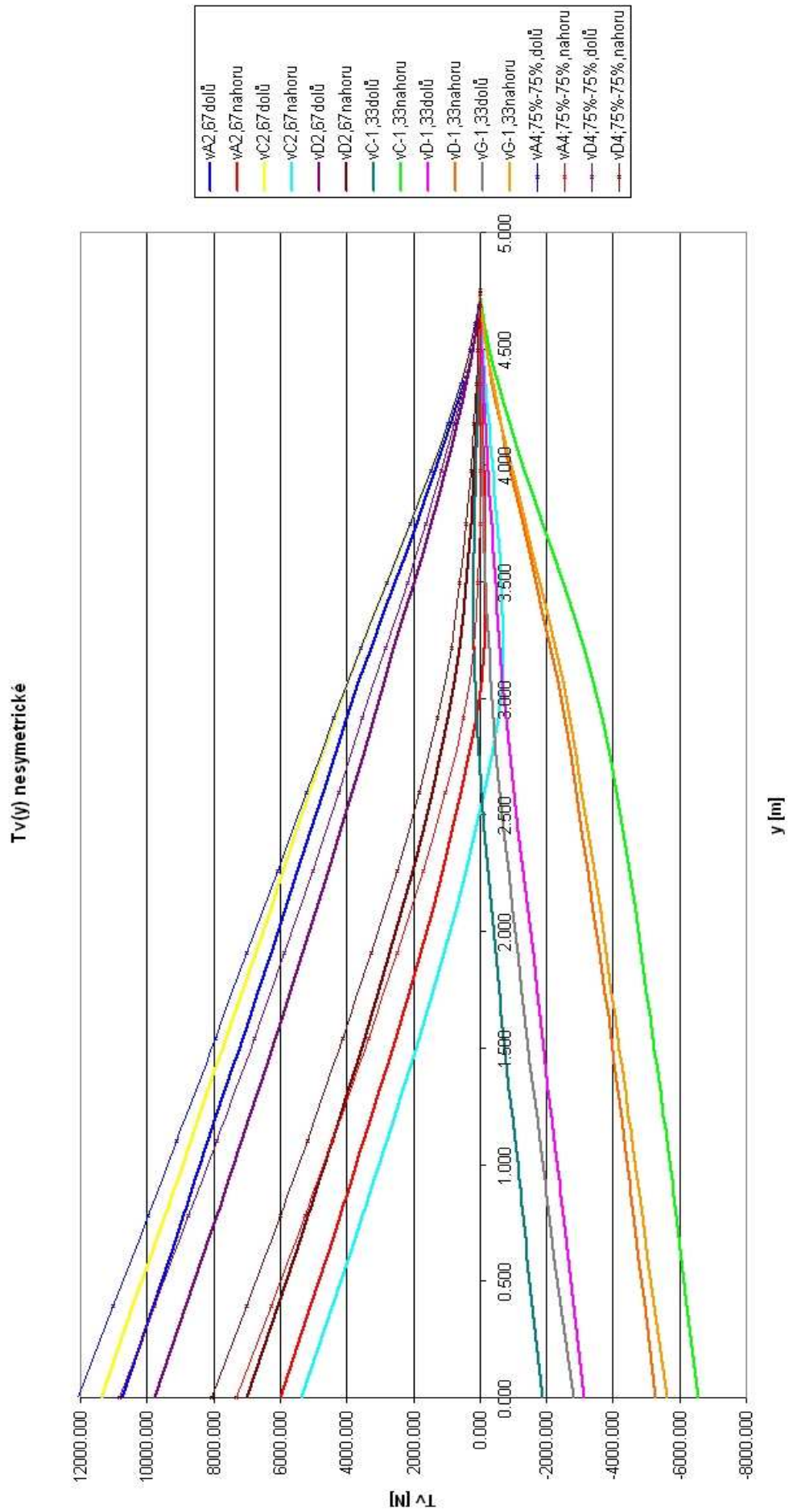
Zatížení od setrvačných sil - kroučící moment



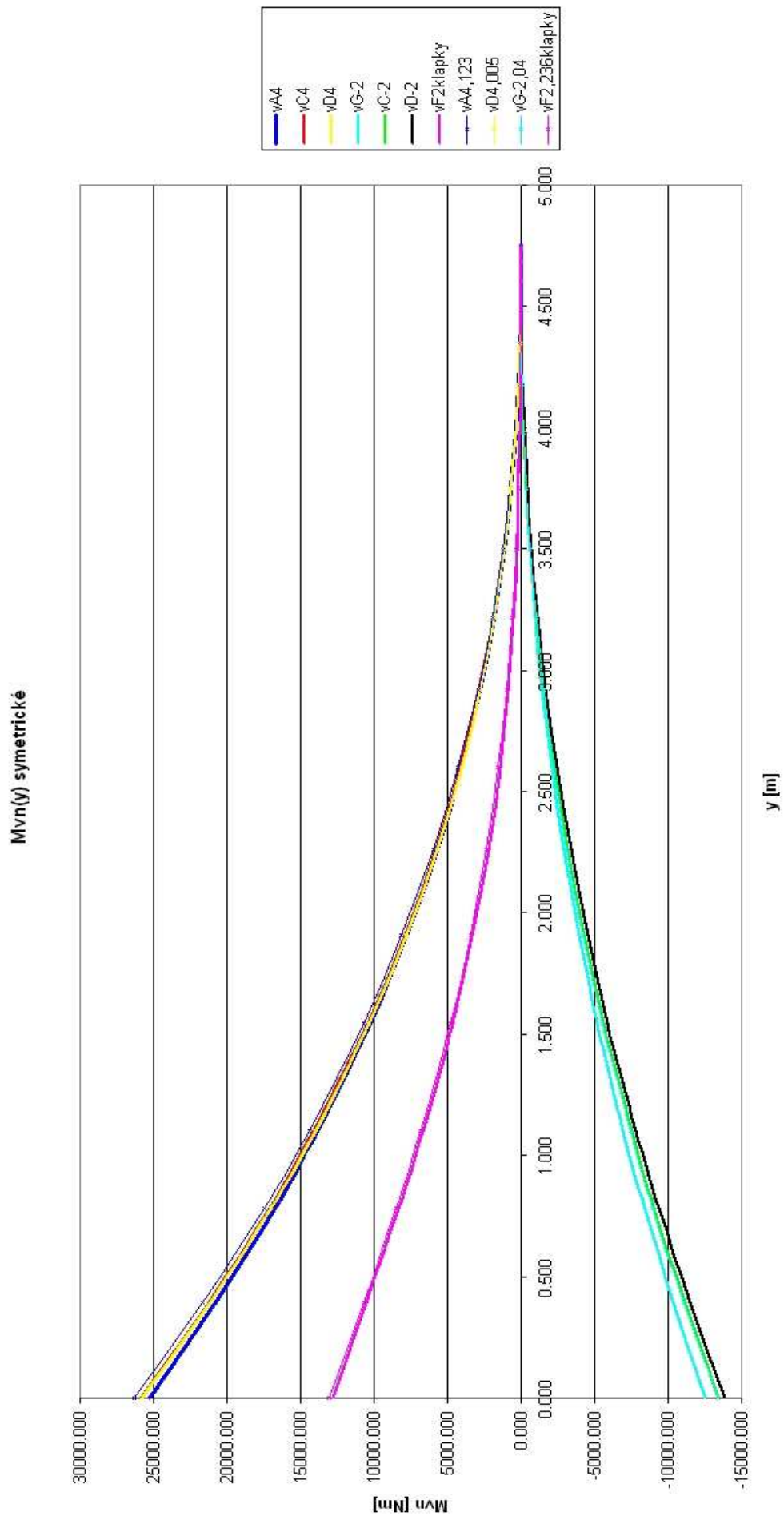
Výsledné zatížení - posouvající síla - symetrické případy



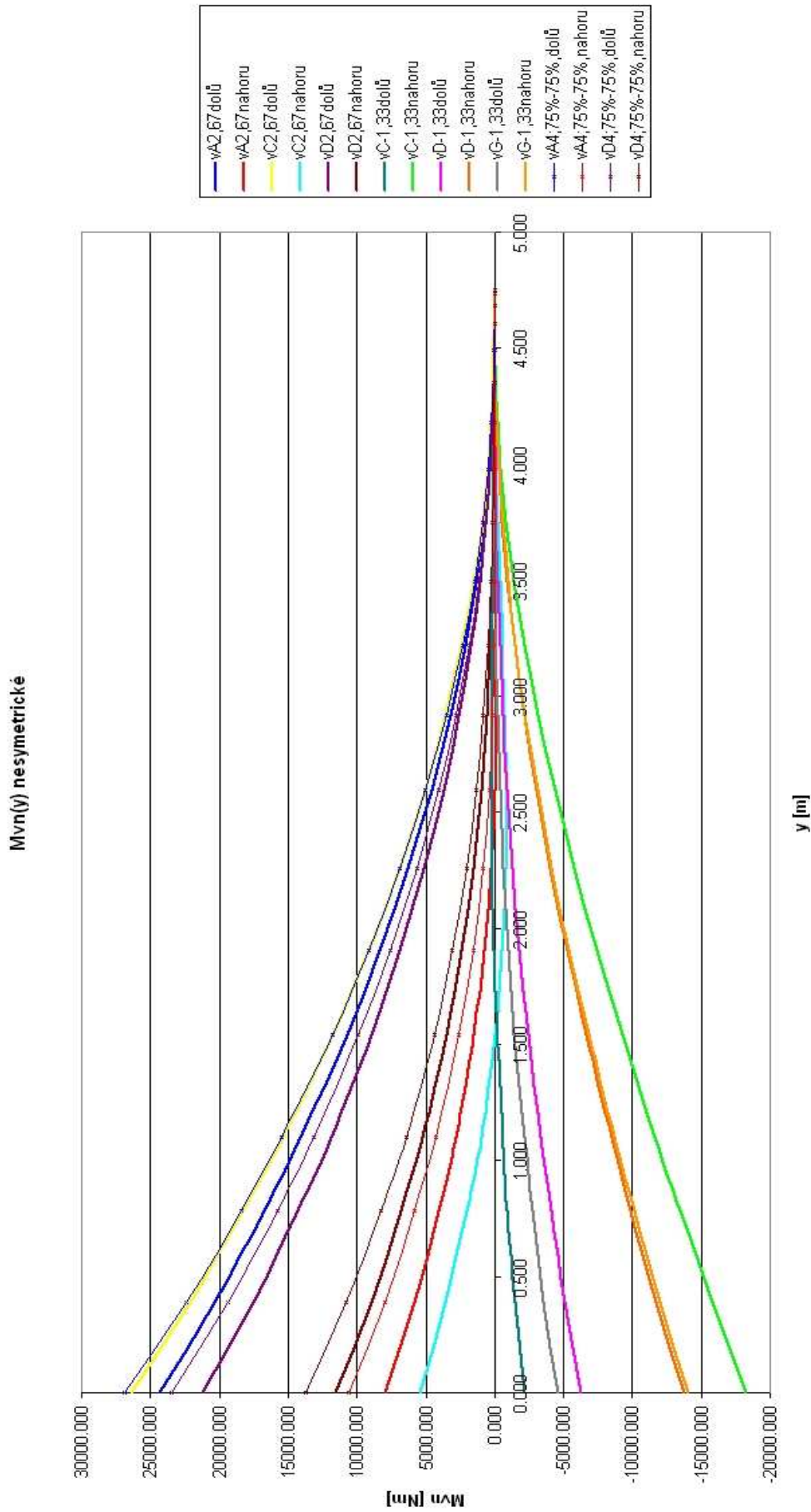
Výsledné zatížení - posouvající síla - nesymetrické případy



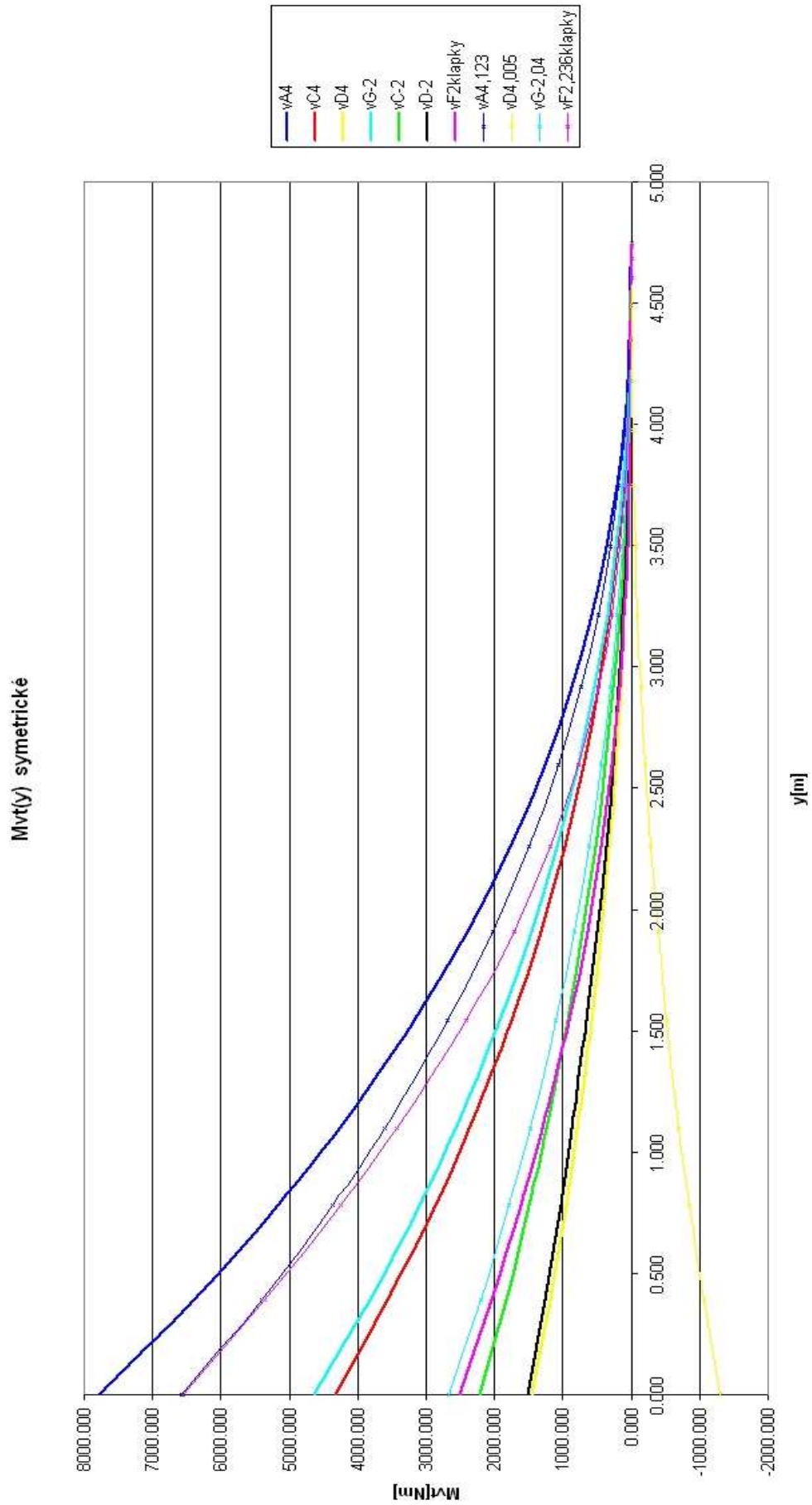
Výsledné zatížení - normální ohybový moment - symetrické případy



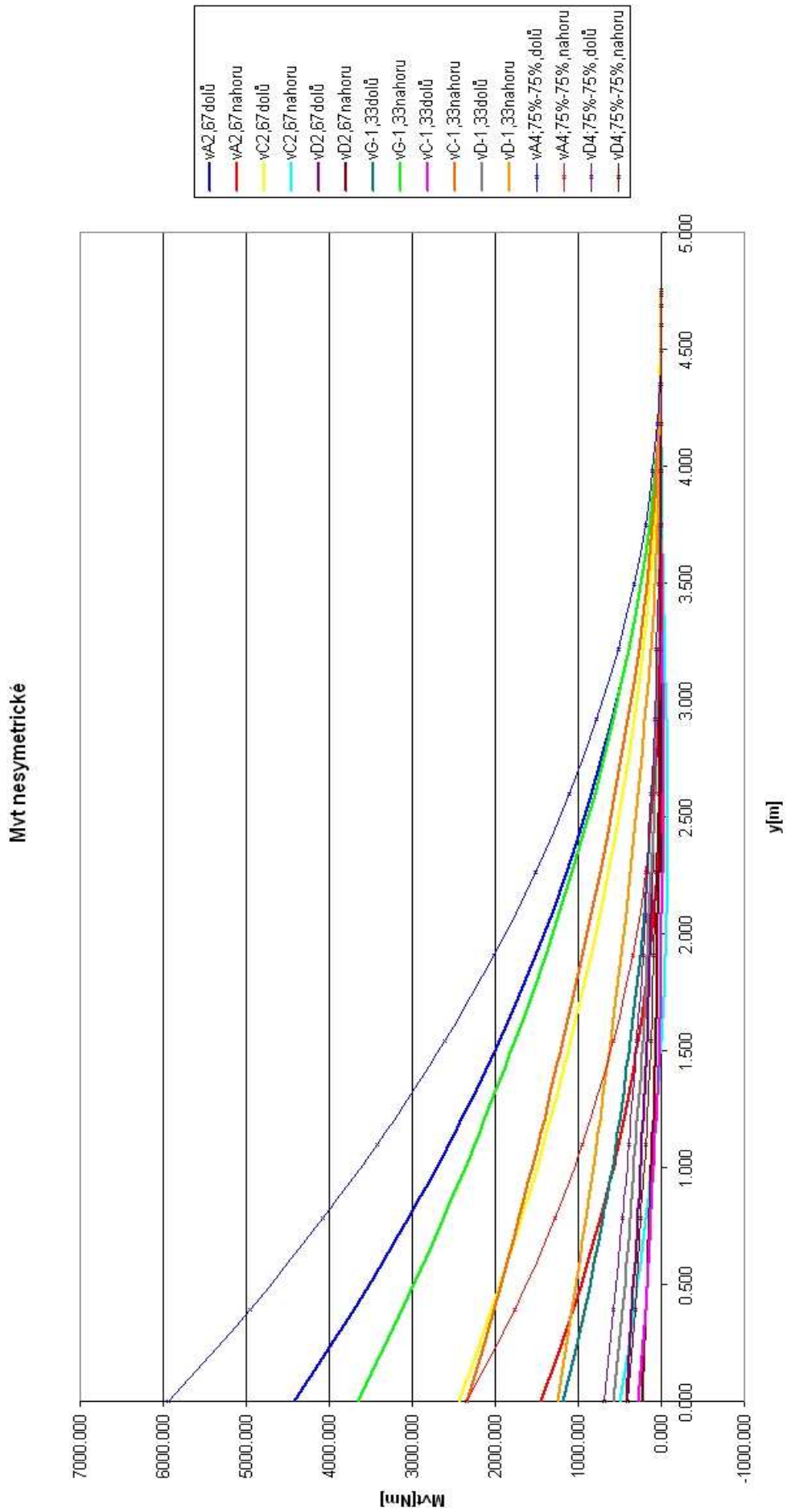
Výsledné zatížení - normální ohybový moment - nesymetrické případy



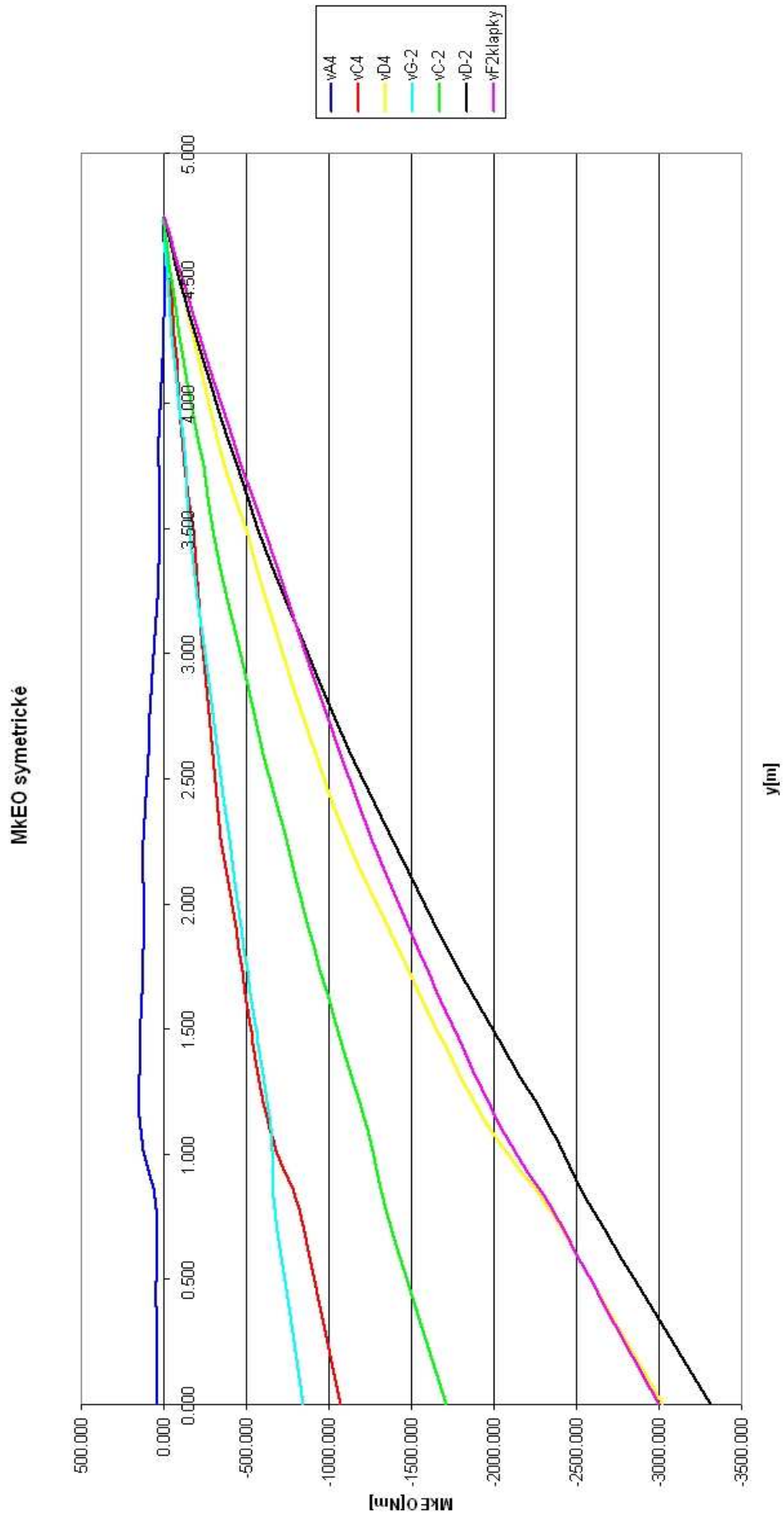
Výsledné zatížení - tečný ohybový moment - symetrické případy



Výsledné zatížení - tečný ohybový moment - nesymetrické případy



Výsledné zatížení - krouticí moment k aeroelastické ose - symetrické případy



Výsledné zatížení - krouticí moment k aeroelastické ose - nesymetrické případy

